Elettronica e telecomunicazioni

Anno LXIII - Numero 1/2014

IL DVB-S2X

LA RADIO DIGITALE

GLI STANDARD DI COMPRESSIONE MPEG – ITU-T

HEVC: EFFICIENZA DI COMPRESSIONE

Progetti al CRIT: TOSCA-MP

La rivista è disponibile su web
alla URL www.crit.rai.it/eletel.htm

Anno LXIII
N° 1/2014
Giugno2014

Rivista quadrimestrale a cura della Rai

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Comitato direttivo
Gino Alberico
Marzio Barbero
Mario Cominetti
Giorgio Dimino
Alberto Morello
Mario Stroppiana

Redazione
Marzio Barbero
Gemma Bonino
Roberto Del Pero

Indice

Editoriale

Gianfranco **Barbieri**
Direttore di
"Elettronica e Telecomunicazioni"

Occorre risalire all'inizio degli anni '80 del secolo scorso per assistere ai primi studi sulla radiofonia digitale da parte degli organismi internazionali. Di televisione digitale non si parlava ancora, anche se, già da qualche anno, si lavorava alla codifica numerica del segnale televisivo per applicazioni professionali, con particolare attenzione agli impianti di produzione e alle reti di trasmissione. Come ampiamente trattato a suo tempo in vari numeri di questa rivista, l'incremento esponenziale dei costi di produzione che si andava verificando come conseguenza della crescente sofisticazione e spettacolarità dei programmi, richiedeva l'adozione di tecnologie che consentissero una drastica ottimizzazione dei metodi produttivi. La conversione digitale del segnale rappresentava una rivoluzione poiché consentiva di superare i limiti imposti alla produzione dal segnale analogico. Ovviamente, l'elevato costo degli apparati digitali confinava questi ultimi al mercato professionale non lasciando spazio a previsioni di utilizzo in ambito consumer; solo verso la metà degli anni '90 divenne possibile sviluppare la componentistica idonea a portare il segnale video digitale fino all'utente finale.

Per il segnale audio si trattò di una storia totalmente diversa. La larghezza di banda di quest'ultimo, quasi 300 volte inferiore a quella del segnale video, poneva problemi tecnologici ben meno vincolanti allo sviluppo della componentistica. Risalgono all'inizio degli anni '80, con la creazione del consorzio europeo **DAB** (*Digital Audio Broadcasting*) i primi tentativi di standardizzare il formato per la diffusione dell'audio digitale. Il Centro Ricerche RAI si trovò impegnato in prima linea con la sperimentazione in area di servizio; i vantaggi della nuova tecnologia si rivelarono ben presto incoraggianti: assenza di interferenze sul segnale o minore influenza delle stesse, ricerca automatica della stazione in funzione della posizione del ricevente, miglioramento dei servizi già esistenti e introduzione di servizi multimediali innovativi, possibilità di far convivere più segnali sullo stesso canale e di conseguenza più emittenti in grado di condividere lo stesso mezzo trasmissivo senza interferenza tra di essi.

I primi servizi di radiofonia digitale furono lanciati in Norvegia, Svezia e Gran Bretagna nel 1995 ma non ne seguì subito un adeguato sviluppo industriale dei ricevitori. Dopo una pausa di riflessione durata una decina di anni, su impulso del **WorldDMB Forum**, consorzio a cui aderiscono 85 partners industriali distribuiti su 25 paesi, è stato sviluppato il nuovo formato **DAB+**, standardizzato da **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*) nel 2007. Da quando l'**AgCom** (*Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni*) ha emanato, nel 2009, il regolamento per l'avvio in Italia delle trasmissioni nella nuova tecnologia anche la radiofonia si è avviata verso la sua rivoluzione digitale; il servizio in Italia copre già oggi più del 60% della popolazione e sul mercato cominciano a comparire varie marche di ricevitori.

Nell'articolo "***La Radio Digitale: evoluzione, servizi, regolamentazione e prospettive***" il lettore troverà un ampio resoconto sulla situazione attuale in Italia e nel resto del mondo, con cenni su normativa e caratteristiche tecnologiche. Di particolare interes-

se è lo sviluppo del sistema utilizzato da Rai per la gestione degli aspetti multimediali (come immagini e testi informativi).

L'attuale numero della rivista offre inoltre alcuni interessantissimi articoli sulla televisione digitale la cui rivoluzione non è certo terminata con lo spegnimento degli ultimi trasmettitori analogici.

A distanza di vent'anni dalla formulazione della norma **DVB-S** per la diffusione digitale via satellite, e di dieci dalla nascita del sistema **DVB-S2**, il consorzio **DVB** (*Digital Video Broadcasting*) sta promuovendo una estensione di quest'ultimo. Gli elementi introdotti da tale estensione sono significativamente innovativi; l'articolo "***DVB-S2X: l'estensione verso il futuro delle comunicazioni via satellite***" ne tratta ampiamente le caratteristiche.

La rivoluzione digitale della radiodiffusione è stata resa possibile dall'implementazione di sofisticatissimi metodi di compressione del segnale. Gli algoritmi messi in campo per la riduzione delle ridondanze sono andati via via crescendo di complessità e nel corso degli anni si sono visti susseguirsi standard di codifica diversi. Gli articoli "***Codifica video: gli standard di compressione ISO/IEC MPEG – ITU-T*** " e "***HEVC: efficienza di compressione su sequenze TV 2D e 3D***" offrono una esauriente panoramica che aiuterà il lettore ad orientarsi nel variegato ambito della normativa internazionale.

DVB-S2X:

l'estensione verso il futuro delle comunicazioni via satellite

Vittoria **Mignone**, Alberto **Morello**, Giovanni **Vitale**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Nel gennaio 2014 lo steering board del DVB ha approvato una estensione dello standard DVB-S2, denominata DVB-S2X (S2 eXtensions), che verrà pubblicata come Parte II dello standard EN 302 307. La Parte I, invece, conterrà la specifica del DVB-S2 originale.

Il DVB-S2X offre nuove configurazioni e prestazioni migliorate per gli scenari del DVB-S2 (DTH, broadband e interattività, DSNG e applicazioni professionali, contribuzione e distribuzione TV) ed estende i modi di funzionamento per coprire nuovi mercati emergenti come il settore mobile.

L'articolo descrive le caratteristiche principali del nuovo sistema che si basa sulle eccellenti tecnologie del DVB-S2 e introduce elementi innovativi sia a livello fisico (nuovi MODCOD per una migliore granularità e un intervallo di rapporti segnale-rumore più esteso, nuove costellazioni ottimizzate per canali lineari e non, roll-off più stretti , nuove sequenze di scrambling per ridurre l'interferenza co-canale) sia ai livelli superiori (channel bonding, protocolli GSE e GSE-lite, introduzione del Super-Frame).

Seppure i guadagni in termini di incremento di capacità offerti dal DVB-S2X rispetto al DVB-S2 in ambito DTH siano decisamente meno significativi rispetto a quanto ottenuto nel passaggio da DVB-S a DVB-S2, il DVB-S2X si presenta, comunque, come un sistema decisamente appetibile per operatori e costruttori interessati al lancio di nuovi servizi commerciali che richiederebbero in ogni caso la definizione di nuovi ricevitori. Per le applicazioni professionali, infine, con l'introduzione di nuovi modi a più alta efficienza spettrale (fino a quasi 6 bps/Hz), il DVB-S2X offre la risposta a richieste sempre più stringenti in termini di allocazione delle risorse.

1. Introduzione

Nel 1993 con il DVB-S, e poi di nuovo nel 2003 con il DVB-S2 [1], gli standard satellitari DVB hanno contribuito alla definizione di una famiglia di standard digitali, rispettivamente di prima e seconda generazione, indirizzando le scelte tecnologiche degli standard DVB per la trasmissione sul canale terrestre e via cavo.

Nel Gennaio 2013, a circa dieci anni dalla nascita del sistema DVB-S2, il consorzio DVB ha pubblicato un bando [2] per la definizione di un nuovo sistema di trasmissione satellitare, volto all'evoluzione e al miglioramento delle tecniche trasmissive in ambito satellitare.

Le ragioni che hanno spinto il Modulo Commerciale del DVB a promuovere le nuove attività del Modulo Tecnico sulla trasmissione satellitare sono diverse [3]:

1) la necessità di difendere il mercato da sistemi proprietari sempre più aggressivi, introdotti sul mercato negli ultimi anni per soddisfare la domanda degli operatori professionali di sistemi ad altissima efficienza per la contribuzione e distribuzione TV, il DSNG (*Digital Satellite News Gathering*) e la trasmissione dati;

2) l'introduzione del sistema di codifica HEVC (*High Efficiency Video Coding*) nel 2013 e il lancio, previsto a partire dal 2015-2016, delle

DVB-S2X

prime trasmissioni UHDTV (*Ultra High Definition TV*) commerciali, basate in una prima fase su tecnologia 4K e in seguito su 8K;

3) l'opportunità di valutare eventuali miglioramenti nelle prestazioni del DVB-S2, in termini di efficienza spettrale, nei segmenti di mercato di riferimento, quali la diffusione televisiva DTH (*Direct To Home*), la contribuzione, le applicazioni VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) e DSNG;

4) la volontà di espandere il campo di applicazione del DVB-S2 a mercati non strategici ma in forte espansione, quali il settore mobile (aereo, ferroviario e navale) e quello delle applicazioni professionali (VSAT) in regioni caratterizzate da elevate attenuazioni del segnale ricevuto, a causa delle perturbazioni atmosferiche.

1.1 Evoluzione o Rivoluzione?

Su richiesta del Modulo Commerciale, nei mesi precedenti la definizione della nuova specifica, il gruppo di lavoro tecnico S2 ha lavorato su due fronti: il primo (EVO) orientato alla definizione di un'evoluzione dello standard S2, ricalcandone la struttura e con un grado di complessità al ricevitore paragonabile a quello degli attuali dispositivi, in modo da favorire l'introduzione dei nuovi ricevitori sul mercato in tempi relativamente rapidi; il secondo (REVO) rivolto allo studio di tecniche innovative ed ambiziose, per uno standard satellitare rivoluzionario e totalmente indipendente, svincolato dai vecchi sistemi, senza limiti stringenti alla complessità del ricevitore ed alle tempistiche di sviluppo. I risultati di questa seconda attività, rinominata *Study Mission on Green Field Technologies*, sono riportati in [4], dove si evidenzia che, nonostante siano molte le nuove tecnologie proposte in letteratura per migliorare le prestazioni dei sistemi satellitari, i tempi non siano ancora maturi per la definizione di uno standard satellitare completamente rinnovato. Sono state considerate, tra l'altro, nuove tecniche di modulazione e codifica, nuove forme d'onda come il SC-OFDM (*Single Carrier – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), il Faster than Nyquist Signalling e il Time-Frequency Packing, nuovi algoritmi di ricezione per demodulazione, decodifica ed equalizzazione congiunta e nuove tecniche di mitigazione dell'interferenza.

Molte delle tecniche innovative valutate si sono rivelate applicabili anche ad un sistema di tipo "evolutivo". Per questo motivo, nell'estate del 2013, sulla base dei risultati preliminari della Study Mission, il DVB ha deciso di realizzare la nuova specifica come estensione del DVB-S2. La specifica del DVB-S2 (EN 302 307) approvata a gennaio 2014 dallo Steering Board del DVB è dunque suddivisa in due parti:

- la *Parte I*, normativa, contenente la specifica del DVB-S2 originale;
- la *Parte II*, opzionale, contenente la specifica del DVB-S2X (*S2 eXtension*), nuova estensione dello standard [7].

I futuri ricevitori DVB-S2X dovranno essere compatibili con le trasmissioni secondo lo standard DVB-S2, dal momento che la *Parte I* dello standard è normativa, mentre i ricevitori DVB-S2 non avranno vincoli di compatibilità con le nuove funzionalità introdotte dal DVB-S2X, essendo la *Parte II* opzionale.

2. Scenari applicativi del DVB-S2X

Lo standard DVB-S2X consente di operare in ambiti di interesse consolidati come la diffusione TV (DTH, *Direct To Home*), le applicazioni interattive a larga banda per l'utenza domestica e professionale tramite l'uso della tecnica ACM (*Adaptive Coding and Modulation*), il DSNG e altre applicazioni professionali, la contribuzione e distribuzione TV, la distribuzione dati e di siti internet (Internet Trunking), ma introduce anche nuove configurazioni rivolte a nuove aree di interesse; infatti, il nuovo sistema è in grado di funzionare anche in condizioni di rapporto segnale-rumore non convenzionali, ed in particolare in condizioni di:

- bassissimo rapporto segnale-rumore (VL-SNR, *Very-Low SNR*): da -3 dB fino a -10 dB, tipico in regioni caratterizzate da elevate attenuazioni del segnale ricevuto a causa delle perturbazioni atmosferiche, come ad esempio le zone tropicali in particolare per la banda **Ka**, e dei servizi verso terminali mobili (aerei, treni veloci, navi, ecc.)[Nota 1]
- altissimo rapporto segnale-rumore (VH-SNR, *Very-High SNR*): oltre i 12 dB, per applicazioni professionali ad elevata efficienza spettrale (arrivando ad efficienze spettrali di circa 6 bps/Hz usando una modulazione 256APSK).

3. Principali innovazioni del sistema

3.1 Il livello fisico

Il nuovo sistema DVB-S2X conserva la stessa architettura generale del DVB-S2 (figura 1), nonché tutte le configurazioni, in modo da garantire la compatibilità con i segnali di tipo S2, oltre che per una veloce e facile immissione sul mercato.

3.1.1 Nuovi MODCOD e roll-off più stretti

Come per il DVB-S2, anche nel DVB-S2X la trasmissione dati è protetta dalla concatenazione di due codici correttori FEC (*Forward Error Correction*), il codice interno LDPC (*Low Density Parity Check*) e il BCH (*Bose Chaudhuri Hocquenghem*) esterno, ed è basata sulle costellazioni APSK (*Amplitude Phase Shift Keying*). Le nuove configurazioni di modulazione e rate di codifica (MODCOD) offerte sono pari a circa il doppio rispetto ai modi presenti nel DVB-S2 per una maggiore granularità nel piano efficienza spettrale/rapporto segnale-rumore. Per quanto riguarda la lunghezza di blocco del codice LDPC, oltre al blocco lungo (64800 bit) e corto (16200 bit), già presenti nel DVB-S2, per i quali vengono definiti nuovi code rate (*2/9, 13/45, 9/20, 11/20, 26/45, 28/45, 23/36, 25/36, 13/18, 7/9, 90/180, 96/180, 100/180, 104/180, 116/180, 124/180, 128/180, 132/180, 135/180, 140/180, 154/180, 18/30, 20/30, 22/30* con blocco lungo e *11/45, 4/15, 14/45, 7/15, 8/15, 26/45, 32/45* con blocco corto), sono introdotte alcune configurazioni con blocco medio da 32400 bit (code rate *1/5, 11/45* e *1/3*).

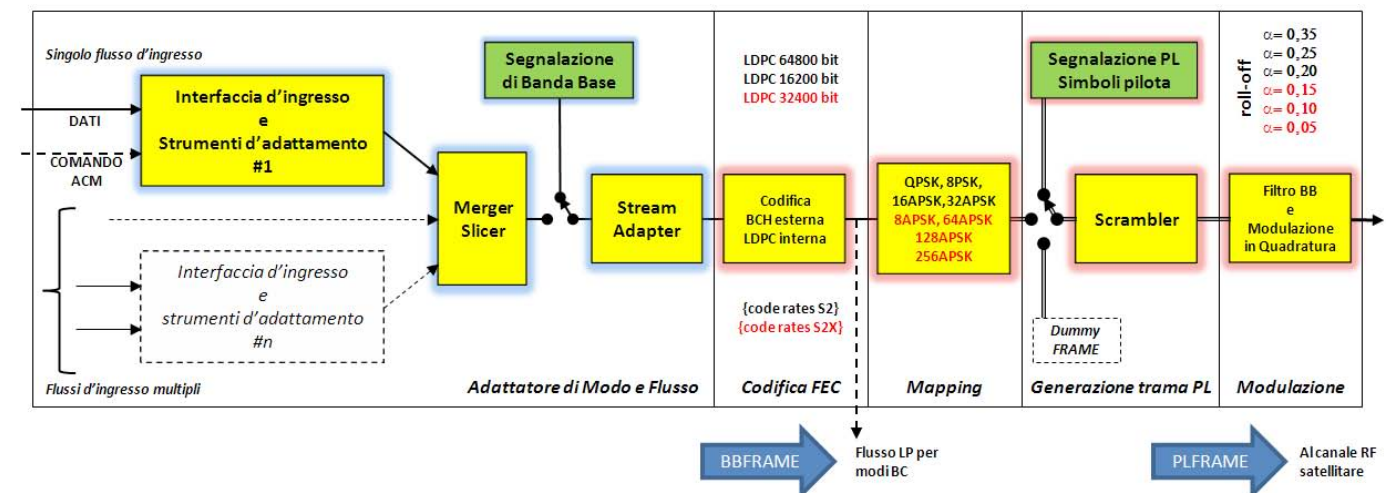



Fig. 1 – Schema a blocchi funzionale del sistema DVB-S2/S2X: sono evidenziate in rosso le estensioni più significative del DVB-S2X

Nota 1 - Si noti la differenza rispetto al DVB-NGH, prevalentemente concentrato su dispositivi di tipo hand-held, mentre il DVB-S2X considera terminali riceventi di tipo set-top-box, dotati di antenne riceventi direttive puntate verso il satellite

Le costellazioni utilizzate vanno dalla BPSK alla 256APSK e, oltre alle costellazioni QPSK, 8PSK, 16APSK e 32APSK del DVB-S2, sono state aggiunte nuove configurazioni 8APSK, 16APSK e 32APSK (figura 2), più le nuove 64APSK (figura 3), 128APSK e 256APSK (figura 4) per le applicazioni broadband e professionali, e la π/2-BPSK, in associazione con uno spreading di un fattore 2 per i rate di codifica più bassi, per i modi VL-SNR. Inoltre, il DVB-S2X introduce configurazioni specifiche (indicate nello standard dal suffisso "-L" in cascata al loro nome), ottimizzate per il canale lineare (utilizzabili ad esempio per trasmissioni in configurazioni multi portante MCPC, *Multiple Carrier Per Channel*). Il guadagno offerto da questi MODCOD rispetto ai corrispettivi per il canale non-lineare può arrivare anche fino a 1 dB, per la stessa efficienza spettrale.

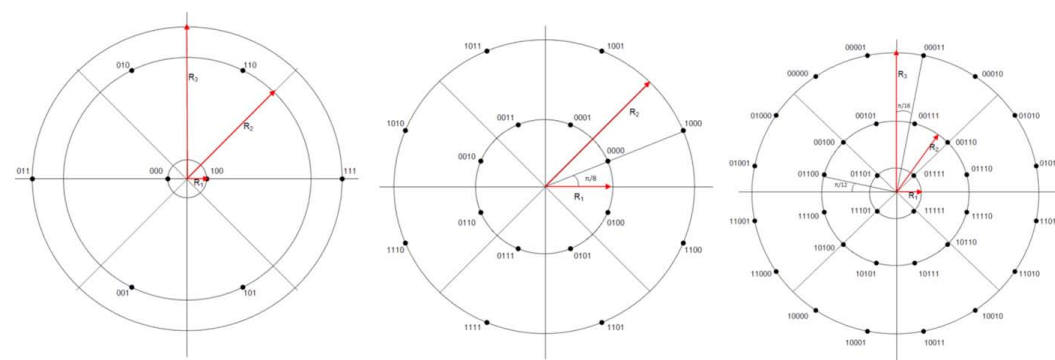



Fig. 2 – Esempi di costellazione 8APSK, 16APSK e 32APSK del DVB-S2X

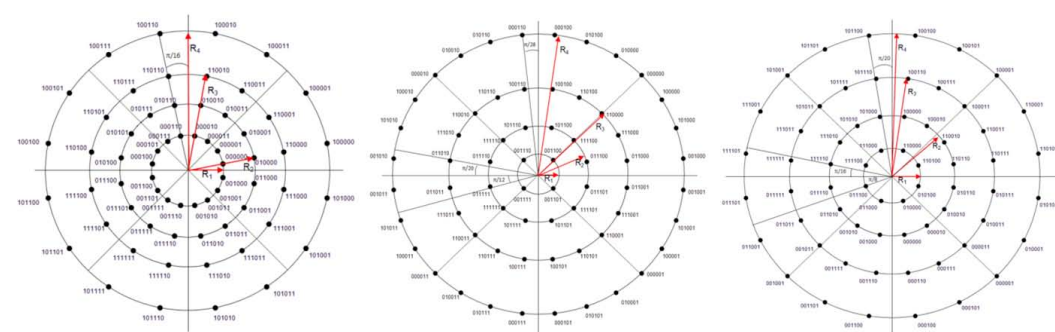



Fig. 3 – Differenti realizzazioni della costellazione 64APSK del DVB-S2X

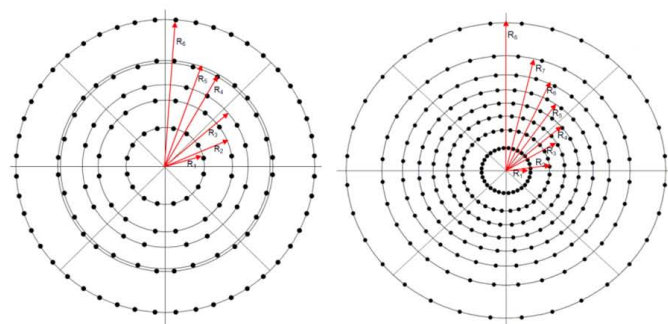



Fig. 4 – Esempi di costellazione 128APSK e 256APSK del DVB-S2X

Tra le altre caratteristiche generali del nuovo sistema, merita una menzione particolare l'introduzione di valori di roll-off più piccoli (15%, 10% e 5%) per ridurre l'occupazione in frequenza del segnale, consentendo di ottimizzare la configurazione del sistema a seconda delle esigenze operative (si veda l'appendice A). Il DVB-S2X rende anche normativa la modalità VCM (*Variable Coding and Modulation*) per tutti gli scenari applicativi: nel DVB-S2, per il DTH la modalità normativa era la CCM (*Constant Coding and Modulation*), mentre la VCM era opzionale. In questo modo, variando la configurazione del sistema, e quindi la protezione sul segnale, frame per frame, è possibile utilizzare il giusto compromesso fra robustezza del segnale ed efficienza spettrale, sulla base degli specifici requisiti dei servizi trasmessi.

3.1.2 Il PLHEADER

Come per il DVB-S2, il *Frame di livello fisico* (PL-FRAME) è preceduto da un *Physical Layer Header* (PLHEADER), la cui funzione è quella di trasportare i bit necessari alla sincronizzazione dei dispositivi riceventi con il segnale trasmesso. Il PLHEADER trasporta anche informazioni aggiuntive come la lunghezza del frame dati, la presenza di simboli pilota per facilitare la sincronizzazione del ricevitore e lo schema di modulazione e codifica utilizzato; dal momento che lo standard DVB-S2X introduce nuovi MODCOD rispetto al DVB-S2, è stato incrementato il numero di bit del PLHEADER da 7 (S2) a 8. L'ottavo bit per la segnalazione dei nuovi MODCOD viene segnalato introducendo un salto di fase di $\pi/2$ dopo la sequenza che segnala l'inizio di un nuovo frame (SOF, *Start Of Frame*). Per ricevitori operanti nell'intervallo di valori di SNR tradizionale del DVB-S2 (SNR>-3 dB), si procederà prima alla decodifica di ciascun PLHEADER e alla valutazione della lunghezza dei frame, che potrà essere costante nel caso di trasmissione in modalità CCM o variabile per trasmissioni in modalità VCM o ACM.

Sebbene il PLHEADER garantisca una ricezione affidabile del segnale per valori di SNR poco inferiori a -2,5 dB, tale soglia non è comunque sufficiente alla ricezione dei nuovi MODCOD VL-SNR, capaci di operare a valori di rapporto segnale-rumore intorno ai -10 dB. Per ovviare al problema senza variare la struttura dei frame tradizionali e permettere l'inserzione dei frame VL-SNR all'interno di trame di segnale "regolari", in associazione ai MODCOD VL-SNR è prevista la trasmissione, in coda al PLHEADER, di un header speciale (VL-SNR Header) basato sulle sequenze di Walsh-Hadamard, in grado di garantire la sincronizzazione su terminali mobili operanti in VL-SNR, oltre che l'identificazione del MODCOD utilizzato (figura 5).

Affinché venga garantito anche il funzionamento con i tradizionali ricevitori DVB-S2 in modalità VCM, la lunghezza dei codici LDPC, nel caso di MODCOD per VL-SNR, è stata modificata (mediante puntura-zione e accorciamento) in modo che la lunghezza totale del frame (inclusi i 900 simboli per la sincronizzazione e l'uso di pilota) sia pari a quella dei frame QPSK o 16APSK: il ricevitore DVB-S2, pur non essendo in grado di decodificare i frame VL-SNR, ne può riconoscere la presenza e la lunghezza e saltarli.

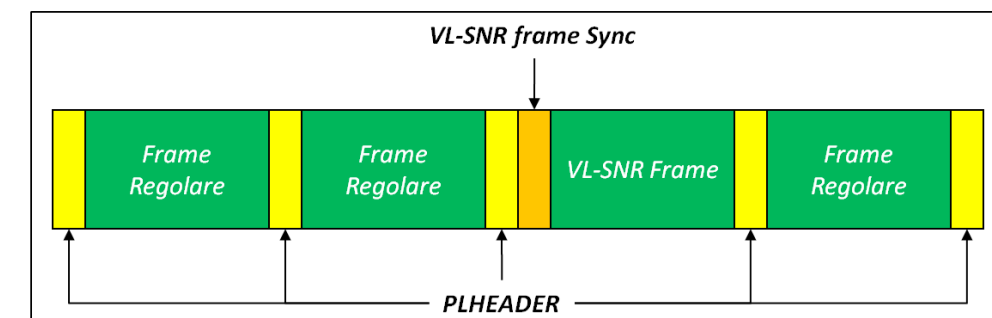



Fig. 5 – Sequenza di frame DVB-S2X regolari e VL-SNR

3.1.3 Le sequenze di scrambling

Per mitigare l'interferenza co-canale il DVB-S2X affianca sei nuove sequenze di scrambling alla sequenza del DVB-S2 nelle applicazioni DTH. In alcuni casi specifici, infatti, già oggi si verificano situazioni di elevata interferenza co-canale (CCI, *Co-Channel Interference*), e si prevede che possa diventare sempre più frequente in futuro nelle configurazioni satellitari multi-spot (specialmente in banda **Ka**). Per evitare il degradamento delle prestazioni sulla stima di canale basata su dati pilota, il DVB-S2X propone un meccanismo per mitigare l'interferenza co-canale tra segnali S2/S2X, mediante l'uso di un insieme definito di sequenze di scrambling: alla sequenza definita nel DVB-S2 (0) sono aggiunti altri sei codici con buone proprietà di rigetto dell'interferenza. Un ricevitore DVB-S2X cercherà di decodificare utilizzando la sequenza di codice 0, e poi passerà alle altre, se necessario.

3.2 I nuovi elementi dei livelli superiori per uno standard al passo coi tempi

Anche ai livelli protocollari superiori, il DVB-S2X introduce nuove funzionalità, che consentono di aumentarne la flessibilità e le prestazioni. In particolare, si introduce il concetto di *channel bonding* per suddividere un grande flusso trasmissivo su più transponder satellitari e l'uso di nuovi protocolli di trasmissione per IP: il *GSE (Generic Stream Encapsulator) e il GSE-lite*.

Infine, il nuovo standard definisce una struttura opzionale di *Super-Frame*, per permettere in futuro trasmissioni multi-formato capaci di garantire forti guadagni in termini di capacità e flessibilità del sistema e favorire lo sviluppo di tecniche avanzate (mitigazione dell'interferenza, beam-hopping) per migliorare in modo significativo le prestazioni su reti per servizi interattivi a banda larga.

3.2.1 Channel bonding

Nel 2003 una delle applicazioni più all'avanguardia per servizi DTH era costituita dalla trasmissione della HDTV multi-programma tramite AVC (H264) e su un transponder da 36 MHz, avendo a disposizione un bit-rate di circa 60 Mbit/s, si potevano trasportare sei programmi HDTV: sfruttando il guadagno del 20% in capacità offerto dalla Multiplazione Statistica (figura 6), i canali HDTV trasmessi diventavano sette. A dieci anni di distanza, il primato della HDTV pare messo in discussione dalla UHDTV, la TV ad altissima definizione che, grazie alle nuove tecniche di codifica video HEVC, sembra ormai pronta a fare capolino sul mercato.

L'UHDTV richiede circa il doppio del bit-rate per trasmettere un singolo programma, e dunque su singolo transponder si potrebbero trasportare solo tre programmi rispetto ai sei dell'HDTV: tenendo conto che in questo caso la Multiplazione Statistica fornisce un guadagno del 12%, la trasmissione di un canale aggiuntivo diventa impossibile. Per sopperire a questa limitazione, il DVB-S2X prevede la possibilità di ripartire grossi flussi di informazione su più transponder (Channel Bonding): in questa maniera, un grosso multiplex da sei programmi UHDTV può essere ripartito fra 2 o 3 transponder e la capacità residua sui singoli trasponder può essere accumulata e utilizzata per accomodare un canale UHDTV aggiuntivo. In ricezione, per poter ricevere flussi provenienti da canali differenti, sarà necessario dotarsi di dispositivi multi-tuner; questi ultimi tra l'altro sono dispositivi sempre più richiesti dal mercato, poiché consentono all'utente di registrare un programma differente da quello che sta guardando, di visualizzare sullo schermo programmi multipli e, ancora, tutta una serie di nuove funzionalità.

Fig. 6 – Guadagno di Multiplazione Statistica per la codifica H264 [8]

3.2.2 GSE e GSE-lite

La maggiore flessibilità del sistema è garantita anche dal supporto dei sistemi di incapsulamento dati GSE e GSE-lite, che consentono di non limitare il trasporto dei dati in classici flussi Transport Stream, ma aprono alla possibilità di trasportare l'informazione audio/video (ed eventuali servizi dati) su formato full-IP, consentendo ad esempio l'instradamento del segnale su reti domestiche insieme con altri servizi interattivi a banda larga (x-DSL o fibra ottica).

Il supporto del GSE e GSE-Lite riduce anche significativamente l'overhead di incapsulamento di Livello 2, permettendo ulteriori efficienze di capacità.

3.2.3 Il Super-Frame

Il DVB-S2X introduce anche una struttura di Super-Frame opzionale, flessibile e multiformato, caratterizzata da lunghezza fissa pari a 612540 simboli, indipendente dal formato del Super-Frame, di cui i primi 720 simboli costituiscono il SOSF (*Start Of Super Frame*), che segnala l'inizio di un nuovo Super-Frame, e il SFFI (*Super-Frame Format Indicator*), che indica il formato del Super-Frame (figura 7).

La definizione di una struttura regolare potrà permettere:

- maggiore resistenza all'interferenza co-canale causata dagli altri beam, grazie all'applicazione dello scrambling all'intero Super-Frame e all'inserimento di simboli pilota regolari (e ortogonali) che possono essere allineati nel tempo sui differenti beam;
- sincronizzazione (di trama, tempo e portante) agevolata dall'inserimento di campi dati di riferimento, che consentono di migliorare le prestazioni del sistema nel caso di condizioni di ricezione critiche (ad esempio: VL-SNR, interruzione del collegamento, ecc.);
- possibilità di definizione in futuro di nuove strutture di frame e relativa segnalazione del formato di trama del Super-Frame, per applicazioni quali:
  - tecniche di mitigazione dell'interferenza;
  - operazioni di beam hopping;
  - trasmissione a formato singolo o multiplo per singola portante;
  - introduzione di profili differenti tra cui i ricevitori possano chiaramente individuare quali siano quelli supportati.

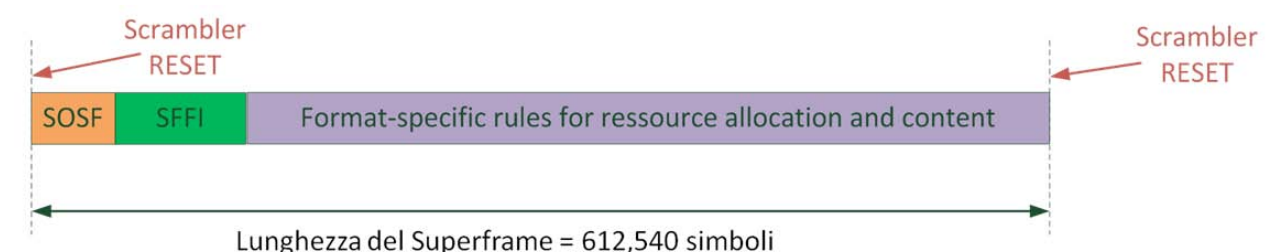



Fig. 7 – Struttura del Super-Frame

Attualmente lo standard definisce i seguenti cinque formati (i rimanenti undici profili sono riservati per usi futuri, RFU *Reserved for Future Use*):

0. formato DVB-S2X, con un frame VL-SNR modificato, con più dati pilota;
1. formato DVB-S2;
2. formato con n-uple di PL-FRAME (payload da 64800 bit) utilizzanti la stessa costellazione a n punti: i bundled PLframe così costituiti hanno dimensione costante e locazione fissa nel Super-Frame, indipendente dalla costellazione;
3. formato con n-uple di PL-FRAME (payload da 16200 bit) di dimensione costante e locazione fissa;
4. formato flessibile con tracking del PL-Header dei modi VL-SNR e differenti livelli di protezione per il PL-Header.

La struttura di superframe corrispondente al primo profilo introduce un aumento dell'overhead pari a solo lo 0.12% rispetto ad una comune trasmissione DVB-S2X.

In merito ad applicazioni future, la struttura del Super-Frame supporta l'impiego di sequenze ortogonali di *Start of Super-Frame* (SOSF) e dati pilota, ottenute mediante l'uso di sequenze di Walsh-Hadamard. Un set di sequenze ortogonali può essere assegnato alle portanti co-canale all'interno di una rete multi-spot beam. I formati 2 e 3 consentono di avere Bundled PLFRAME di dimensione costante e allineati nel tempo (sulle differenti portanti co-canale). In questo modo si rende possibile sia l'uso di tecniche per la mitigazione dell'interferenza sui terminali riceventi (*multi-user detection*, MUD) che tecniche di pre-coding sul gateway (figura 8) . Entrambe le tecniche, associate ad efficaci schemi di riuso della frequenza (*full-frequency re-use* e *two colours scheme*), possono offrire guadagni in termini di capacità tra il 20% e il 100%.

Inoltre, la nuova struttura di Super-Frame consente l'implementazione della tecnica del *beam hopping*, attualmente utilizzata in alcune reti a banda larga con lo scopo di aumentare la flessibilità di allocazione delle risorse sulla copertura e/o nel tempo. Il *beam hopping* consiste nell'illuminare i vari beam di una rete in slot temporali differenti, in modo che solo un set limitato di beam sia illuminato simultaneamente. Le simulazioni mostrano che il *beam hopping* consente di rispondere meglio alle richieste (tempo-varianti) dell'utente, rispetto all'utilizzo di altre tecniche (es. flexible HPA). L'utilizzo del super-framing è fondamentale per l'implementazione di questa tecnica, dal momento che i ricevitori devono lavorare in modalità *burst mode* e ricevere la portante desiderata solo per alcune frazioni di tempo all'interno della finestra temporale di *beam hopping*.

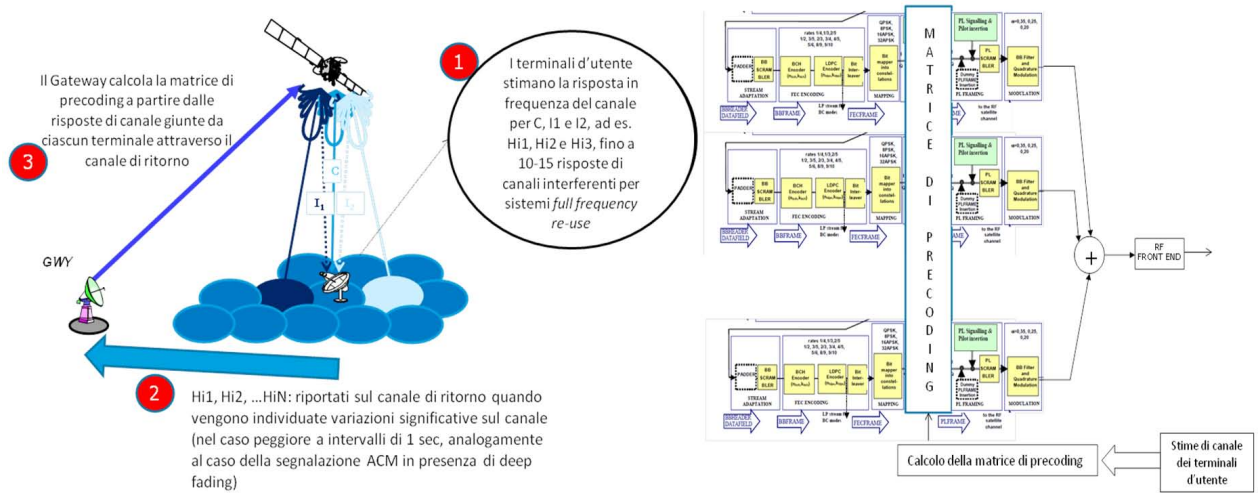



Fig. 8 – Descrizione funzionale delle tecniche di GW-based Pre-coding

Intervallo SNR	SNR (dB)	Guadagno di efficienza medio % Canale Lineare	Guadagno di efficienza medio % Canale Non-Lineare (HL)
VL-SNR	-10 ÷ -3	∞ (10,0) *	∞ (26,8) *
L-SNR	-3 ÷ + 5	6,1	11,5
DTH	+5 ÷ +12	12,2	9,5
Professionale	+12 ÷ +24	29,7	17,2
Intero intervallo	-10 ÷ +24	16,5	16,3

** guadagno rispetto all'S2 non definibile, dal momento che l'S2 non opera nell'intervallo di valori VL-SNR. Tra parentesi è indicato il guadagno che si ottiene applicando uno spreading al segnale in trasmissione.*

Tab. 1 – Guadagni medi del DVB-S2X rispetto al DVB-S2, per i diversi scenari applicativi e canali di riferimento

4. Prestazioni nei diversi scenari applicativi

Molte delle novità del DVB-S2X introducono da sole piccoli miglioramenti sullo standard; globalmente però il miglioramento rispetto al DVB-S2 può diventare significativo, come illustrato nel seguito, nello specifico dei vari scenari applicativi di riferimento e riassunto in tabella 1.

4.1 DTH

La figura 9 mostra le prestazioni del sistema DVB-S2X simulate sul cosiddetto *Canale A*, caratterizzato da un amplificatore di bordo del satellite ideale di tipo *Hard Limiter* (HL), operante al punto di lavoro ottimo per ogni singolo MODCOD, con $\mathbf{SNR = C_{sat}/N}$, dove $\mathbf{C_{sat}}$ è la potenza in saturazione e il rumore $\mathbf{N}$ e l'efficienza spettrale sono misurate nella banda $B_u = R_u(1+roll\text{-}off)=36MHz$ (l'interferenza da canale adiacente è considerata trascurabile). Osservando la figura 9, limitata all'intervallo di SNR 5-12 dB, tipico dell'applicazione DTH, si nota come il DVB-S2X, includendo e integrando con nuove configurazioni i MODCOD del DVB-S2, presenti variazioni di efficienza spettrale meno nette nel passaggio da un MODCOD all'altro, avvicinandosi molto di più alle prestazioni teoriche (curva tratteggiata) rispetto allo standard DVB-S2. In particolare, sono stati introdotti nuovi MODCOD per la modulazione 8PSK nell'intervallo 6-8,5 dB e nuovi MODCOD 16APSK nella regione 9-12 dB, in alternativa ai MODCOD 8PSK del DVB-S2, meno efficaci. Si noti inoltre che nel DVB-S2 la modulazione 16APSK è opzionale nello scenario DTH: l'inclusione della modulazione 16APSK in modo normativo consente al DVB-S2X un guadagno di efficienza pari al 5% rispetto al DVB-S2.

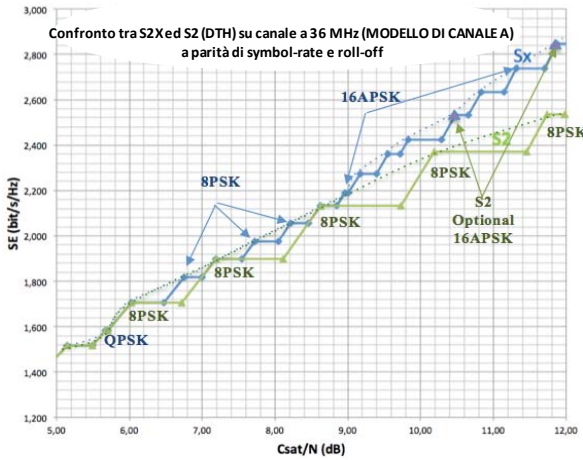



Fig. 9 – DVB-S2 e DVB-S2X, efficienza spettrale a confronto nell'intervallo di valori di rapporto segnale rumore tipici dei servizi diffusivi. Si noti che è stato selezionato un roll-off del 5% sia per il DVB-S2 che per il DVB-S2X (anche se il DVB-S2 prevede roll-off minimo del 20%)

Per ottenere risultati completi e rappresentativi, si è anche considerato un modello di canale più completo, il cosiddetto *Canale B* (figura 10), che include il modello di simulazione di tutti gli elementi della catena di trasmissione, i filtri IMUX (figura 11) e OMUX (figura 12), con larghezza di banda a -3 dB di 38 MHz, e spaziatura tra i canali di 40 MHz, un modello più realistico dell'amplificatore TWTA (*Travelling Wave Tube Amplifier*) (figura 13), gli interferenti da canale adiacente sia in up-link che in down-link. Come per il *Canale A*, anche in questo caso il punto di lavoro del TWTA è stato ottimizzato per ogni configurazione MODCOD. La banda utile $\boldsymbol{B_u = R_s(1+roll\text{-}off)}$ può essere ottimizzata per massimizzare le prestazioni o può essere fissata dall'operatore. Le simulazioni sul *Canale B* sono state effettuate utilizzando un ricevitore avanzato (*Enhanced Receiver*, ER) (appendice B) dotato di equalizzatore lineare in grado di ridurre gli effetti distorcenti del satellite nel caso in cui la banda del segnale trasmesso abbia un'ampiezza prossima alla larghezza di banda dell'OMUX.

I risultati ottenuti sono simili a quelli di figura 9, con la differenza che il guadagno di efficienza spettrale dipende dalla banda utile $\boldsymbol{B_u}$ allocata: quando il symbol-rate tende alla larghezza di banda dello OMUX, il guadagno si riduce al 3%, a causa dell'effetto dell'equalizzatore. Riassumendo, per specifici valori di rapporto SNR, il guadagno del DVB-S2X rispetto al DVB-S2 va da 0% (quando il modo S2X è un modo S2) al 10% se la banda del segnale trasmesso è molto più stretta del filtro ($\boldsymbol{R_s<<BW}$); tale guadagno si riduce al 3% nel caso in cui la banda del segnale sia paragonabile a quella dell'OMUX.

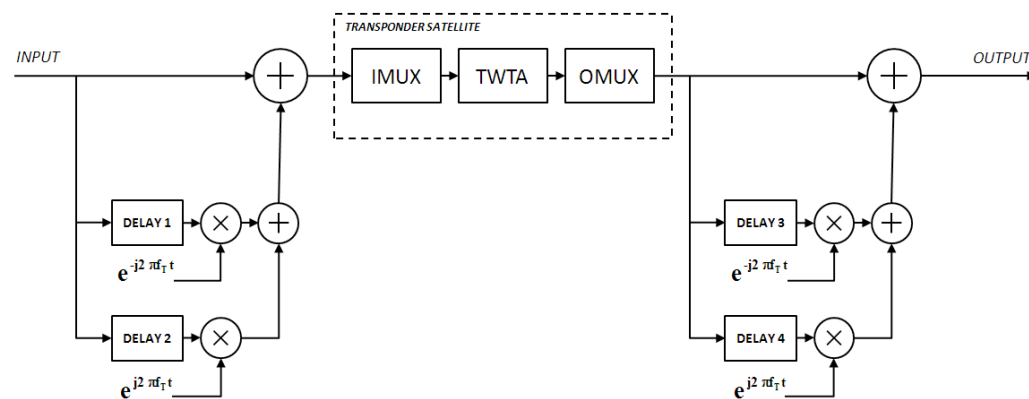



Fig. 10 – Schema a blocchi del modello di Canale B

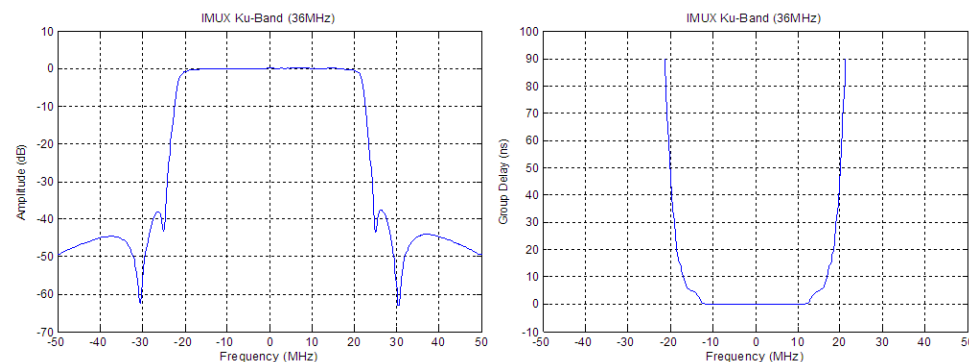



Fig. 11 – Ampiezza e ritardo di gruppo del filtro IMUX

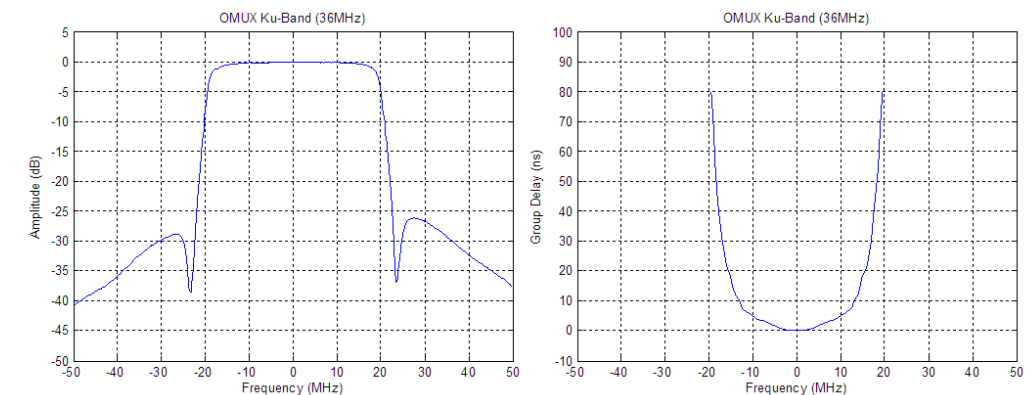



Fig. 12 – Ampiezza e ritardo di gruppo del filtro OMUX

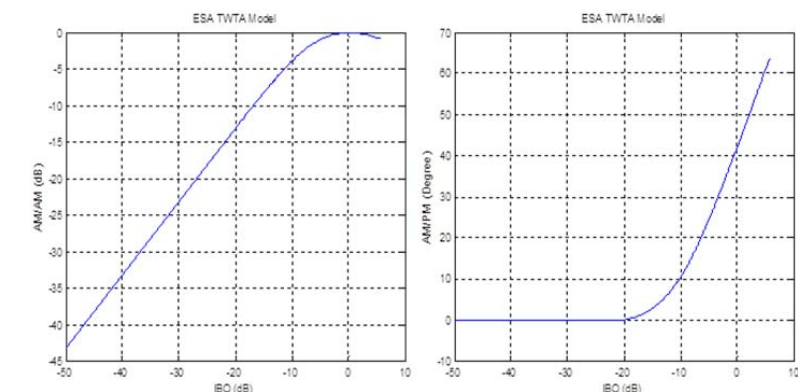



Fig. 13 – Curve AM/AM and AM/PM dell'amplifcatore di bordo TWTA

4.2 Il broadband e l'interattività

Per le applicazioni interattive a larga banda, tenendo conto che in futuro è previsto un sempre maggiore utilizzo delle configurazioni MCPC, in modo particolare per i satelliti multi-spot (*High Throughput Satellites*, HTS), in cui i transponder, trasmettendo più beam in parallelo, devono lavorare più vicino alla regione di linearità, il DVB-S2X introduce MODCOD specifici, ottimizzati per il canale lineare in presenza di rumore di fase.Nota 2

In figura 14 è possibile apprezzare un confronto fra la curva di efficienza spettrale offerta dai MODCOD S2 e quella prodotta dai modi S2X su canale lineare. Il roll-off utilizzato è pari al 20% per il DVB-S2 e al 5% per il DVB-S2X. Rispetto al DVB-S2, per le applicazioni broadband e per il DSNG, il sistema DVB-S2X è in grado di guadagnare fino al 10% in termini di efficienza spettrale, grazie alla maggiore granularità che riduce la distanza fra i MODCOD da 1-1,5 dB del DVB-S2 a 0,4-0,5 del DVB-S2X, permettendo così di ridurre i margini sul link budget nei sistemi ACM, e all'introduzione normativa delle modulazioni ad alta efficienza fino alla 64APSK, contro la 32APSK del DVB-S2, opzionale. Opzionalmente, è anche previsto l'impiego delle modulazioni 128APSK e 256APSK. Inoltre, sono anche opzionalmente previsti MODCOD per bassissimo rapporto SNR, nel caso in cui si lavori con terminali mobili oppure in condizioni atmosferiche avverse (ad es. fading in banda Q/V), tipico delle zone tropicali o sub-tropicali.

4.3 Le applicazioni professionali

Come già il DVB-S2, il DVB-S2X trova impiego anche nell'ambito delle applicazioni professionali, quali la contribuzione e distribuzione TV, il trasporto di dati IP e altre, in modalità SCPC (in banda **C** e **Ku**) e MCPC (in banda **C**, **Ku** e **Ka**), grazie all'ampia gamma di MODCOD disponibili nella regione denominata *very-high SNR*. Per questo tipo di servizi, il DVB-S2X prevede l'impiego normativo delle modulazioni fino alla 256APSK (si ricorda che lo standard DVB-S2 ammette fino alla modulazione 32APSK). In termini di efficienza spettrale, è possibile raggiungere guadagni variabili tra il 21% e il 51%, a seconda della specifica area di operatività all'interno della *very-high SNR region*. In figura 15 troviamo un confronto fra DVB-S2 e DVB-S2X, limitato a questa regione.

Fig. 14 – Efficienza spettrale vs C/N_{ref} (canale lineare)

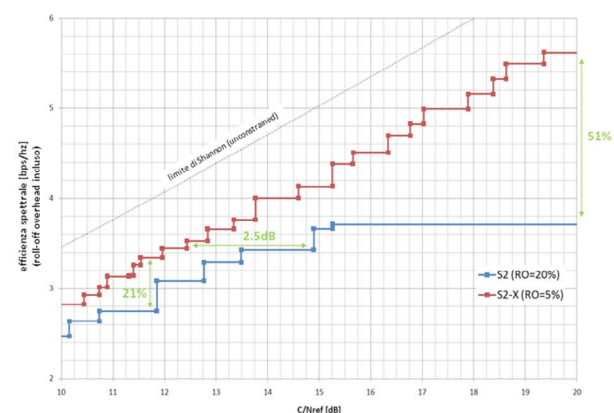



Fig. 15 – Guadagno del DVB-S2X rispetto al DVB-S2, area professionale

Nota 2 - Come specificato in Tabella H.3 nell'Annex H.8 di [7].

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Rispetto al passaggio dal DVB-S al DVB-S2, che ha prodotto un aumento della capacità del sistema pari a circa il 30%, quello da S2 a S2X rappresenta un salto meno "epocale" in termini di capacità, dal momento che le prestazioni dello standard S2 si collocano già a pochi decimi di dB dal limite teorico di Shannon. In ambito DTH, dunque, non è possibile apprezzare miglioramenti significativi rispetto allo standard precedente.

Tuttavia, il raffinamento di alcuni aspetti del DVB-S2 (granularità dei MODCOD, regione di SNR estesa) e la sua maggiore flessibilità (roll-off, VCM, impiego di ricevitori avanzati, trasporto tramite GSE/GSE-lite), rendono il sistema DVB-S2X appetibile per gli operatori interessati al lancio dei nuovi servizi UHDTV (anche denominati 4k). In particolare, la tecnica del channel bonding dà i massimi benefici proprio con segnali UHDTV. Pertanto si andrà a creare una nuova famiglia di ricevitori satellitari di alta fascia, basata su S2X, UHDTV e HEVC.

Infine, ci si aspetta un grosso miglioramento delle prestazioni rispetto al DVB-S2 sulle nuove reti di trasmissione multi spot (in banda Ka), fino al 100% della capacità del sistema, grazie all'impiego delle nuove tecniche di mitigazione dell'interferenza e riuso della frequenza, possibili grazie all'introduzione della nuova struttura di Super-Frame.

A pochi mesi dalla definizione dello standard, a dimostrare l'interesse per il nuovo sistema, sono già disponibili i risultati dei primi test sull'impiego del DVB-S2X per la trasmissione di servizi UHDTV e al NABNota 3 2014, presso gli stand del DVB è stata allestita una dimostrazione (a cura di Intelsat, BT, Ericsson, Sony e Newtec) di UHDTV trasmessa via satellite in modalità DVB-S2X.

Riconoscimenti

L'attività, coordinata da Rai-CRIT, ha coinvolto più di trenta enti operanti nel mondo delle trasmissioni satellitari, tra cui broadcaster, operatori satellitari, università ed enti di ricerca, e aziende produttrici di apparati professionali e consumer. In particolare le nuove configurazioni di modulazione e codifica sono state proposte da Hughes Network Systems, Newtec CY e Sony, ESA con il Politecnico di Torino e l'Università di Parma ha realizzato le simulazioni per il calcolo delle prestazioni del sistema, Rai ha definito la tecnica di channel bonding, ESA con Fraunhofer FhG e DLR la struttura di Superframe e le tecniche di mitigazione dell'interferenza.

Bibliografia

[1] A. Morello, V. Mignone, *Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LII, Numero 3, Dicembre 2003, pp 5-28

[2] DVB Technical Module, *Call for technologies (CfT) for Evolutionary subsystems of the S2 system*, Gennaio 2013

[3] DVB, *Enhancement of the DVB-S2 Standard – Commercial Requirements*, Ottobre 2012

[4] DVB, *White Paper of the TM-S2 Study Mission on Green Field Technologies for Satellite Transmissions*, Marzo 2014 (documento interno DVB)

[5] A. Morello, *DVB-Sx: The evolution of the (satellite systems) species*, 31st AIAA International Communications Satellite Systems Conference, Firenze, 16-18 Ottobre 2013

Nota 3 - Il NAB Show di Las Vegas è la più importante esposizione mondiale di media elettronici dedicata al settore del broadcasting e allo sviluppo, gestione e distribuzione di contenuti attraverso tutti i tipi di supporti.

[6] DVB Fact Sheet - May 2014, DVB-S2X - S2 Extensions Second Generation Satellite Extensions , Maggio 2014

[7] DVB BlueBook A83-2, Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications - Part II, Marzo 2014

[8] Ken Mc Cann, Review of DTT HD Capacity Issues - An Independent Report from ZetaCast Ltd Commissioned by Ofcom, Ottobre 2007

APPENDICE A - Scelta del roll-off

Il guadagno ottenibile mediante l'uso di roll-off più stretti dipende molto dalla flessibilità dell'operatore satellitare nel poter modificare i vincoli su symbol-rate e maschere di emissione.

Se non ci sono vincoli sul symbol-rate utilizzabile, il beneficio offerto dai roll-off più stretti per ottimizzare l'efficienza spettrale di un tipico schema di trasmissione per servizi DTH è minimo. La figura 16 illustra i risultati ottenuti per il *Canale B* utilizzando un ricevitore di tipo ER: nonostante i roll-off più stretti del DVB-S2X offrano la possibilità di aumentare il symbol-rate (37 Mbaud), l'aumento di capacità rispetto al caso di roll-off 20% e symbol-rate da 34 Mbaud è minore del 2%.

Ciononostante, l'utilizzo dei roll-off più stretti può essere utile per il controllo dell'interferenza sui canali adiacenti dovuto all'aumento del symbol-rate. In particolare, l'utilizzo dei roll-off più stretti può essere essenziale quando l'operatore satellitare limita la banda utilizzabile, ad esempio invocando la cosiddetta regola dell'"1+roll-off", tale per cui il massimo symbol-rate utilizzabile diventa pari a $R_s = B_u / (1+roll\text{-}off)$. In questi casi, assumendo che i filtri della catena satellitare non introducano distorsioni significative (si considera pertanto come riferimento il *Canale A*), le simulazioni hanno dimostrato che il symbol-rate cresce linearmente al diminuire del roll-off. Confrontando, ad esempio, un sistema DVB-S2 con roll-off pari al 20% con un sistema DVB-S2X con roll-off pari al 5%, il guadagno di symbol-rate è pari al 14%, la potenza di rumore al ricevitore aumenta di 0,6 dB, portando ad un guadagno netto in termini di efficienza spettrale pari a circa il 7%. Per verificare i risultati ottenuti sul modello di *Canale B*, e paragonare la capacità disponibile con quella di figura 16 (*free symbol-rate optimization*) sono state paragonate le efficienze spettrali con roll-off pari al 5%, 10% e 20% utilizzando la regola dell'"1+roll-off" per una banda B_u=36 MHz: per roll-off pari al 5% il guadagno misurato rispetto al roll-off pari al 20% è di circa il 6,5%, leggermente inferiore rispetto al guadagno del più semplice *Canale A*, senza limitazioni in banda.

Se si paragona la curva con roll-off 20% in figura 16 con quella con roll-off 5% in figura 17, si può vedere come la regola dell'"1+roll-off" con limitazione in banda B_u=36 MHz produca un degradamento impercettibile delle prestazioni. Quando la banda B_u cresce (ad esempio dalla banda a -1 dB del transponder fino alla spaziatura dei canali), il guadagno di roll-off diminuisce gradualmente fino al valore ottimo ottenuto quando non si impongono limitazioni sul symbol-rate. Per paragonare i risultati di figura 17 e figura 9 (entrambe con roll-off 5%), i valori di SNR di figura 9 devono essere ridotti di un fattore $10 \cdot Log(38/36) = 0.2$ **dB**, e l'efficienza spettrale ***SE*** divisa per ***38/36=1.0555***. Avendo introdotto queste correzioni,si deduce ad esempio che l'8PSK 5/6 sul *Canale A* ha prestazioni migliori che sul *Canale B* di 0.7 dB.

Anche nel caso di servizi a banda larga e applicazioni professionali, il guadagno legato all'uso di roll-off più stretti è fortemente legato alla configurazione della rete (single o multi carrier per transponder) e al suo grado di flessibilità.

Nella modalità multi-portante, si applica generalmente la regola dell'"1+roll-off"[Nota 4] in quanto le prestazioni migliori si ottengono quando le portanti sul trasponder risultano separate in frequenza. In modalità singola-portante, quando la rete è condivisa da diversi operatori utilizzanti stazioni di uplink differenti, l'operatore satellitare può imporre limiti alla banda occupata, e quindi si applica ancora la regola dell'"1+roll-off".

In questi casi, assumendo che le limitazioni in banda del transponder non introducano distorsioni significative, l'uso di roll-off più stretti consente un aumento proporzionale del symbol-rate trasmesso. In questo caso il guadagno di efficienza spettrale dipende dalla regione di SNR in cui lavoriamo.

Ad esempio, paragonando il DVB-S2 con roll-off pari al 20% con il DVB-S2X con roll-off pari al 5%, il symbol-rate aumenta del 14%, la potenza di rumore al ricevitore cresce di 0,6 dB, e il guadagno di rete nella regione di SNR professionale varia tra l'8% (SNR=10 dB) e l'11% (SNR=20dB).

Invece, nei "sistemi chiusi", in cui la rete è totalmente utilizzata da un solo operatore, e il payload satellitare è trasportato in modalità single-carrier per HPA, l'operatore può autonomamente decidere come ottimizzare l'interferenza inter-transponder in modo da ottimizzare la capacità complessiva del sistema. Anche in questo caso si ottengono gli stessi risultati ottenuti per il caso DTH.

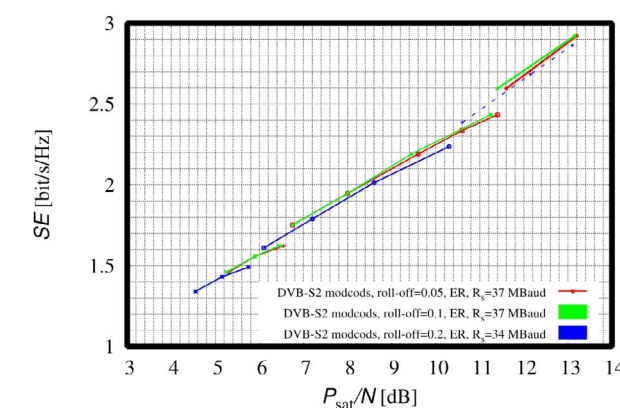



Fig. 16 – Effetto della variazione del roll-off sul Canale B, in assenza di vincoli sul symbol-rate utilizzato: DVB-S2X (linee verdi e rosse) paragonato con il DVB-S2 con roll-off 20%

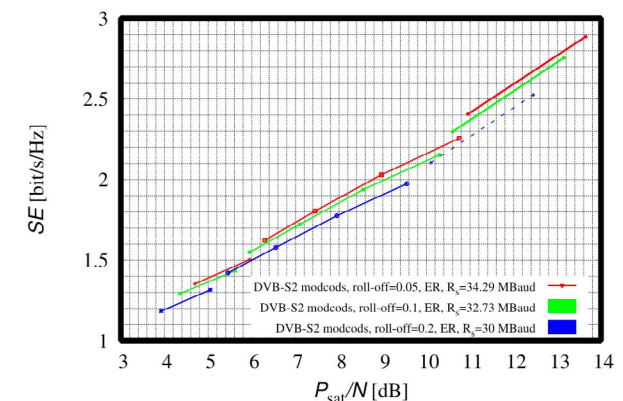



Fig. 17 – Effetto della variazione del roll-off sul Canale B, secondo la regola dell'"1+roll-off": DVB-S2X (linee verdi e rosse) paragonato con il DVB-S2 con roll-off 20%

Nota 4 - Il symbol-rate Rs trasmesso deve essere inferiore a ***BW/(1+roll-off)***, dove ***BW*** è la banda utile.

APPENDICE B - I NUOVI RICEVITORI

La flessibilità sul symbol-rate in trasmissione influenza fortemente le prestazioni dei ricevitori; in fase di definizione del sistema, si è verificato tramite simulazione su *Canale B* che, dato un certo valore di roll-off, all'aumentare del symbol-rate (e dunque al crescere della banda del segnale trasmesso), l'uso di un equalizzatore adattativo in ricezione (ER, *Enhanced Receiver*) consente di ridurre l'effetto della distorsione dovuta ai filtri sul transponder, aumentando il valore della capacità massima trasportabile dal sistema. Del resto, esistono già numerosi ricevitori DVB-S2 dotati di equalizzatore interno: gli standard DVB, infatti, fissano le regole per la trasmissione del segnale, lasciando alle aziende costruttrici la facoltà di realizzare ricevitori secondo soluzioni "proprietarie".

Simulazioni su *Canale B*, in cui si è ottimizzato il symbol-rate tramite equalizzazione adattativa (ER), hanno mostrato guadagni in termini di efficienza spettrale tra il 7% e il 9% rispetto ai ricevitori convenzionali (CR), come mostrato in figura 18.

Tuttavia il massimo symbol-rate raggiungibile dipende dal tipo di ricevitore progettato, dalle distorsioni introdotte dal canale e dalle regole operative fissate dall'operatore satellitare. Ciò significa che, sebbene il concetto di equalizzazione avanzata introduca certamente dei vantaggi per il sistema, è compito dei costruttori progettare dei sistemi ad hoc in grado di trarne il massimo beneficio. Indubbiamente, l'equalizzazione è meno critica quando la maschera di emissione del sistema rientra ampiamente al di sotto della banda di separazione tra i transponder.

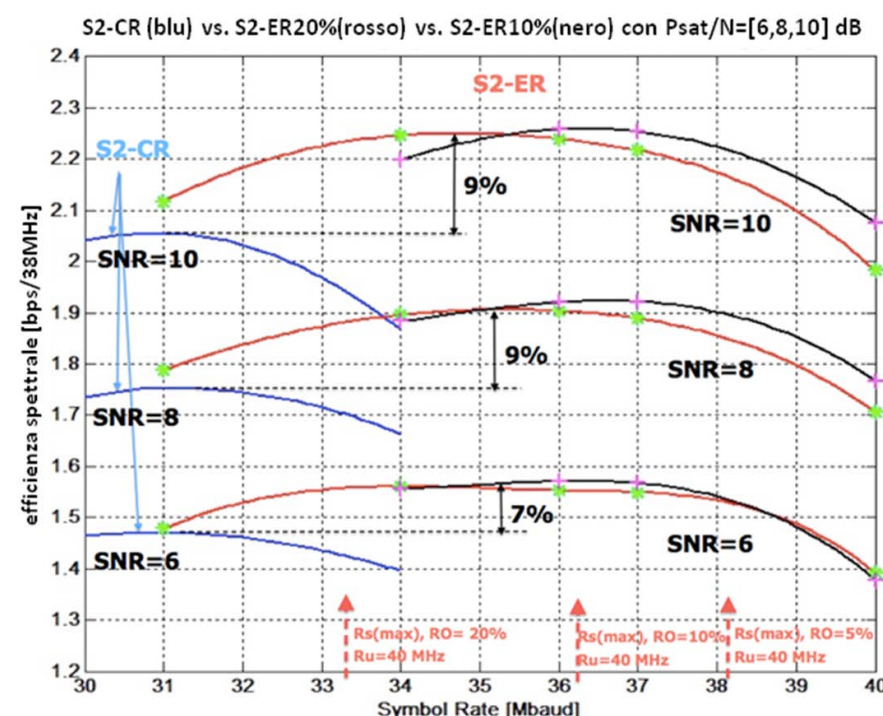



Fig. 18 – Efficienza spettrale senza (CR) e con (ER) equalizzatore lineare in funzione del symbol-rate

La Radio Digitale:

evoluzione, servizi, regolamentazione e prospettive

Paolo **Casagranda**[1], Silvio **Ripamonti**[1], Francesco **Russo**[1], Gianluca **Sigillo**[2]
[1]**Rai -** Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
[2]**Rai Way**

La radio in Italia è un mezzo di comunicazione tra i più seguiti, grazie alla sua immediatezza e pervasività. Grazie alla tecnologia DAB+ anche la radio può entrare nel gruppo dei media digitali, con vantaggi su qualità, affidabilità, multimedialità, efficienza e, non ultimo, risparmio su gestione e consumi energetici. La transizione è già stata avviata in Italia, e in molti paesi Europei è ad uno stadio avanzato.

Il presente articolo delinea la situazione attuale in Italia e nel resto del mondo, con cenni su normativa e caratteristiche tecnologiche. Si discute poi l'esempio dello sviluppo del sistema utilizzato da Rai per la gestione degli aspetti multimediali, come immagini e testi informativi.

1. La radio digitale: dal DAB al DAB+

La rapida evoluzione dei media degli ultimi anni ha visto nel passaggio al digitale il suo punto chiave. La radio è, per la sua immediatezza e pervasività, un mezzo di comunicazione di massa ancora oggi tra i più diffusi e amati (in Italia più dell'80% della popolazione ascolta la radio nelle sue diverse forme) e raccoglie la sfida e risponde alle mutate esigenze del pubblico puntando alla tecnologia digitale con il DAB.

Il DAB (*Digital Audio Broadcasting* [1] [3] [4]) è una tecnologia per la trasmissione di segnali radiofonici in formato digitale. Nato negli anni 90, ebbe l'obiettivo di migliorare le prestazioni dell'ancora attuale sistema radiofonico analogico. Recentemente il miglioramento della tecnologia, in particolare l'efficienza della nuova codifica audio (HE-AAC v2), ha portato alla definizione dello standard DAB+ che, sebbene condivida con il DAB la base tecnologica (ovvero il layer fisico di trasmissione), risulta essere un'evoluzione più efficiente. Ad oggi, DAB+ è lo standard per la radio digitale più diffuso in Europa.

Possiamo evidenziare alcuni vantaggi della tecnologia radiofonica digitale DAB+ con i seguenti punti:

- **qualità**: un'adeguata scelta dei valori di compressione del segnale audio permette di raggiungere un'elevata qualità audio consegnata all'utenza, anche in considerazione della riduzione dei rumori di fondo e dell'immunità

La Radio Digitale

alle interferenze che il sistema DAB+ permette di ottenere;

- **semplicità**: i ricevitori risultano essere più facili da usare permettendo di scegliere la stazione di interesse attraverso il nome della stessa e non il numero della frequenza;
- **efficienza**: la rete digitale consente la trasmissione isofrequenziale. Tutti i trasmettitori parte della stessa rete possono operare sulla stessa frequenza e questo si traduce nella possibilità, per l'ascoltatore in movimento, di poter seguire il suo canale radiofonico da Napoli a Trento senza dover mai cambiare frequenza. Inoltre, l'utilizzo più efficiente dello spettro elettromagnetico permette di aumentare il numero dei canali radiofonici a parità di banda occupata senza, per questo, intaccarne la qualità;
- **multimedialità**: la tecnologia DAB+ consente alle emittenti radiofoniche di trasmettere anche uno streaming di dati (dati di traffico, informazioni testuali, immagini) che, opportunamente utilizzato, arricchisce il contesto della trasmissione radiofonica.

Nel seguito si propone una panoramica sul sistema DAB, dalla situazione e regolamentazione in Italia, all'espansione a livello mondiale, dai servizi attualmente più utilizzati alle caratteristiche tecniche.

La flessibilità del sistema DAB è tale da permettere, in modo simile a quanto avviene per TCP/IP, la creazione di nuovi e più efficienti protocolli di trasporto e codifica compatibili.

2. La radio digitale in Italia

Il mondo della radio digitale in Italia sta vivendo un periodo di particolare fermento sin dal dicembre 2009, quando l'AgCom ha emanato il regolamento per l'avvio delle trasmissioni in tecnica digitale in Italia. La pubblicazione di regole chiare ha permesso, anche in Italia, di far uscire la radiofonia digitale dal limbo normativo in cui si trovava.

In un mondo sempre più digitale, anche la radio analogica può fare adesso il grande salto. Infatti, con l'entrata in vigore del regolamento, può considerarsi conclusa la fase di sperimentazione delle trasmissioni digitali radiofoniche. La copertura aggregata di tutte le stazioni radio digitali, nazionali e locali, raggiunge il 65% della popolazione (Rai, Club DAB Italia, EuroDAB Italia, CR DAB, RAS in primis).

Rai, dopo una articolata sperimentazione della Radio Digitale negli anni passati, ha una rete di diffusione radiofonica in tecnica DAB+ che raggiunge una copertura di circa il 40% della popolazione, soprattutto nelle aree urbane. La mappa della figura 1 evidenzia le zone raggiunte dal servizio, che comprendono numerose aree urbane tra cui Torino, Milano, Roma, Bologna, Venezia, Napoli e Palermo, parti della Val d'Aosta, della Sardegna e del Friuli. In Trentino Alto Adige, regione in cui è stato lanciato ufficialmente il servizio di radio digitale nel 2012, sono attivi anche impianti gestiti da RAS che permettono la trasmissione di programmi in lingua tedesca.

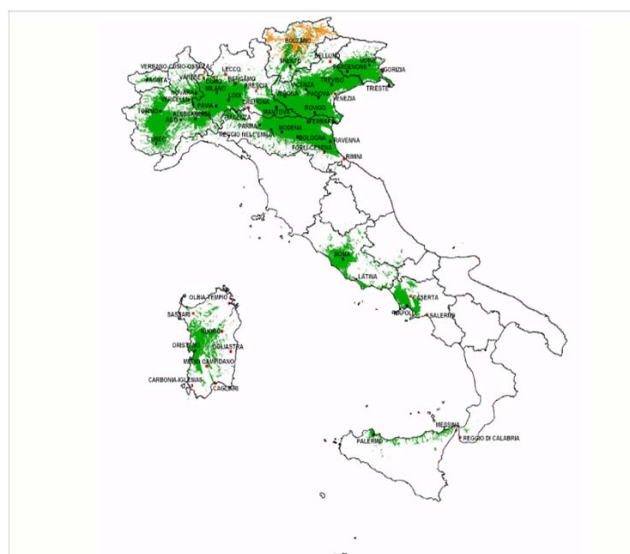



Fig. 1 – Mappa di copertura servizio DAB+ RAI (e RAS in Trentino Alto Adige)

Rai ha già approvato un piano di espansione del servizio, e il primo passo consisterà nel migliorare la copertura nel Nord Italia ed in alcune zone del Centro.

Iniziative importanti sono la nascita dell'associazione ARD [9], che promuove lo sviluppo e la diffusione della Radio Digitale in Italia e ha creato una guida per l'autocertificazione delle radio digitali (si veda la sezione "Nota informativa su ARD"), e la campagna promossa da digitalradio.it [12], che attraverso campagne informative su molti media sta diffondendo la conoscenza della Radio Digitale in Italia.

2.1 Delibera *AgCom 664/09/CONS*

In Italia è importante capire cosa la regolamentazione abbia disposto. Il regolamento vigente è la delibera *AgCom 664/09/CONS* del 26 novembre 2009 che definisce i termini generali della fase di avvio delle trasmissioni radiofoniche in tecnica digitale. Trattandosi di tecnologia digitale, è difficile definire una tecnologia allo stato dell'arte in quanto nuovi progetti e nuovi standard vengono di continuo portati avanti, ma il regolamento AgCom ha fissato gli standard DAB+ e DMB come riferimento per i prossimi anni a venire.

A causa della scarsità della risorsa frequenziale, l'Autorità ha definito la condivisione del singolo blocco di trasmissione da parte di più emittenti come l'unica possibilità per poter permettere a tutti gli editori adeguato spazio in digitale. Nasce così, per gli editori, la necessità di formare dei *consorzi* che saranno i titolari della risorsa frequenziale assegnata dal Ministero. Così il regolamento destina 1 blocco di diffusione alla Concessionaria del Servizio Pubblico RAI, 2 blocchi su tutto il territorio nazionale ai due consorzi di radio private nazionali, e fino ad 11 blocchi per ogni bacino per le radio private locali e comunitarie. Le reti dovranno essere in tecnica SFN (Single Frequency Network) ovvero, a differenza dell'FM, ogni consorzio trasmetterà sulla stessa frequenza per la porzione di territorio che andrà a coprire con il proprio segnale. La copertura del territorio dovrà essere fatta in banda VHF-III, la banda L potrà essere utilizzata per integrare la copertura ove necessario.

Inoltre l'Autorità ha deciso di dare priorità ai fornitori di contenuti in analogico intenzionati a divenire anche fornitori di contenuti in digitale rispetto alla nascita di nuovi fornitori di contenuti esclusivamente in digitale che, invece, avranno la disponibilità di spazio residuale solo dopo aver soddisfatto le richieste degli editori in analogico. Perciò per poter dare spazio anche a nuovi contenuti, l'art. 3, comma 13b, stabilisce che ogni fornitore di contenuti possa diffondere almeno il 50% dei propri programmi in simulcast (trasmissione simultanea in digitale di quanto diffuso su radio FM in analogico). Ciò significa che ogni fornitore di contenuti può utilizzare il restante 50% del tempo di trasmissione per proporre contenuti esclusivi per il mondo digitale.

È doveroso precisare che ad oggi il regolamento non prevede uno switch off dell'FM, poiché le frequenze di diffusione della radio digitale sono in Banda III, pertanto un editore in FM potrà continuare a trasmettere in analogico e non avrà esborsi ulteriori se non quelli necessari alla nuova rete di diffusione.

Da ultimo l'art. 18 demanda l'assegnazione definitiva dei diritti di uso delle frequenza al completamento della fase di avvio dei mercati. Pertanto l'AgCom provvede all'individuazione delle frequenze assegnabili in una fase successiva attraverso ulteriori delibere.

2.2 Delibere successive

Ad oggi l'AgCom ha emanato due ulteriori delibere individuando le frequenze assegnabili per il Trentino e per l'Alto Adige.

La delibera *AgCom 180/12/CONS* del 4 aprile 2012 determina le frequenze disponibili ed assegnabili per il servizio radiofonico in tecnica digitale nella regione Trentino Alto Adige per la sola provincia di

La Radio Digitale

Trento, sancendo la nascita del progetto pilota nella provincia autonoma di Trento.

Analogamente la delibera *AgCom 383/13/CONS* del 20/06/2013 estende alla provincia di Bolzano il progetto pilota nato con la delibera *180/12/CONS* del 4 aprile 2012.

Nell'ottobre 2013 l'AgCom ha pubblicato la delibera *567/13/CONS* che modifica ed integra il regolamento *664/09/CONS* con l'inserimento della procedura di beauty contest per assegnare la frequenza destinata alle radio nazionali oggi ancora libera, mentre tale procedura non è adottabile per le radio locali.

3. La Radio Digitale in Europa e nel mondo

L'EBU (*European Broadcasting Union*), i cui associati sono tutti i brodcaster di servizio pubblico europei e alcuni dei principali broadcaster privati, ha stabilito definitivamente che il DAB+ è lo standard di riferimento per le trasmissioni radiofoniche in tecnica digitale (si confronti la Raccomandazione [7]).

Di seguito alcune informazioni circa la diffusione dello standard DAB+ in alcuni paesi europei (fonte *World DMB Forum* [13]):

- la **Norvegia** è stata la prima nazione a dichiarare di voler spegnere l'FM, fissando come data per lo switch-off il 2017, a patto che la radiofonia digitale raggiunga determinati livelli di copertura e di penetrazione di ascolto;
- in **Germania** le trasmissioni radiofoniche digitali, iniziate il 1° agosto 2011, vengono effettuate in DAB+ con una copertura oggi pari al 90% della popolazione ed in continua espansione;
- la **Danimarca** ha stabilito lo spegnimento dell'FM nel 2019 a patto di aver raggiunto una penetrazione di ascolto pari al 50%;
- in altri paesi del nord Europa quali **Olanda** e **Belgio** le coperture DAB+ in primis e l'alto numero di ricevitori venduti sono tali da consentire la pianificazione di un futuro spegnimento del servizio FM;
- in **Svezia**, nel giugno 2013, il governo ha manifestato l'intenzione di passare al digitale radiofonico e ipotizza uno spegnimento dell'FM per il 2022;
- la **Svizzera** ha iniziato le trasmissioni in DAB nel 1999. A partire dal 2009 il DAB è stato progressivamente sostituito dal DAB+, arrivando a ottobre 2012 a coprire l'intera popolazione. Il 33% della popolazione ascolta la radio tramite un ricevitore digitale. E' previsto uno switchoff della rete analogica, che potrebbe verificarsi prima del 2024. La Svizzera ha finanziato lo sviluppo della rete digitale attraverso i risparmi ottenuti con lo spegnimento della rete Onda Media;
- il **Regno Unito** è stato il primo, nel 1995, a lanciare la radio digitale e ancora oggi utilizza lo standard originario, il DAB. La copertura è di oltre il 90% della popolazione. La penetrazione ha superato il 21% della popolazione ed è in crescita, con un'offerta di programmi caratterizzata da una significativa presenza anche di emittenti only digital. Attualmente sono in corso di valutazione le possibilità per transitare dal vecchio DAB al nuovo DAB+. Inoltre il Governo, lo scorso ottobre, ha stabilito di valutare nel prossimo futuro la possibilità di effettuare lo switch off dell'FM;
- in **Italia** attualmente oltre alla RAI, sono presenti due operatori nazionali (Club DAB Italia ed Eurodab) che coprono rilevanti porzioni del territorio (cfr. www.dab.it e www.digitalradio.it). In Trentino sono presenti due consorzi di radio locali (DBTAA e Digiloc) che complessivamente diffondono il segnale di 22 emittenti locali. La RAS (Radiotelevisione Azienda Speciale) copre l'intero territorio dell'Alto Adige con due multiplex di servizio pubblico che diffondono, oltre ai segnali RAI, anche programmi in lingua tedesca;
- altre nazioni, quali **Francia**, **Austria**, **Repubblica Ceca** e **Irlanda**, hanno servizi DAB attivi, ma ancora in fase sperimentale e non hanno pianificato alcuno switch-off dell'FM.

Focalizzandosi sui contenuti trasmessi, il numero maggiore di programmi in onda si riscontra nei paesi in cui lo sviluppo è più avanzato. In Germania sono presenti più di 100 programmi radio; nel Regno Unito 166 ed in Svizzera 42.

Data l'alta incidenza della fruizione del servizio radiofonico in mobilità, sono da segnalare, in tal senso, i due casi di eccellenza della Svizzera ,con una copertura outdoor pari al 99% del territorio, e della Germania, con il 70% di copertura delle autostrade.

Al di fuori dell'ambito europeo, l'**Australia** è uno dei paesi che ha introdotto il DAB+ con maggiore successo, anche grazie alla facilità nell'ottenere la copertura del segnale per la maggior parte della popolazione, distribuita tra le principali città. I broadcaster australiani collaborano con l'industria automobilistica e con i produttori di smartphones per facilitare l'integrazione di ricevitori digitali.

4. I ricevitori digitali disponibili oggi

Rispetto ad alcuni anni fa, il numero di modelli di radio digitale è aumentato notevolmente, superando il centinaio. In Italia, in alcune delle migliori catene di supermercati di tecnologia, sono disponibili diversi modelli. Le radio domestiche presentano una ricchezza di modelli notevole, partendo da radio di fascia alta come Pure Sensia (figura 2) o Revo Axis, dotate di schermo touch in alta risoluzione, fino ai modelli più economici come la Pure One Mini, dotata di display LCD testuale, o la Sony XDR-S40. Tra gli altri modelli citiamo anche la Noxon Journaline (figura 3), che può leggere le news testuali ricevute sui canali radio mediante un software text-to-speech.

La radio è particolarmente ascoltata in auto (in Italia le rilevazioni parlano di più del 60% degli ascoltatori), e l'industria automobilistica recentemente ha ben accolto la tecnologia digitale. Audi, BMW, Ford , Jaguar, Land Rover, Opel, Skoda, Toyota, Volkswagen e Volvo prevedono un ricevitore DAB+ sulla maggior parte dei modelli, e anche Fiat Chrysler Automobiles, Peugeot, Kia e altre si stanno dotando di ricevitori radio digitali(basti l'esempio del ricevitore digitale disponibile sulla FIAT 500L). Sono anche reperibili autoradio digitali da installare dopo la vendita, a prezzi abbastanza contenuti (esempi di ricevitori *aftermarket* sono Pioneer, Kenwood e Pure).

Anche alcuni *smartphone* includono ricevitori radio digitali, ma sono ancora pochi e distribuiti soprattutto in Corea del Sud. L'iniziativa della EBU "SmartRadio" (nata come "Euro-chip") è volta proprio a chiedere ai produttori di chipset, all'industria telefonica e agli operatori mobili di prevedere anche ricevitore radio digitale in ricevitori e *smartphone*. Un'altra richiesta chiave è l'utilizzo di una interfaccia universale per accedere al ricevitore, in modo da facilitare lo sviluppo di applicazioni basate sulla radio. Un esempio di tali applicazioni è il Progetto RadioDNS per la radio ibrida [8] [5], che ha specificato il modo per far interagire radio diffusiva e contenuti di arricchimento (immagini, informazioni testuali, guida elettronica ai programmi): una app per la radio ibrida è ora disponibile sullo *smartphone* Samsung Galaxy Express II.

Fig. 2 – Radioricevitore Pure Sensia

Fig. 3 – Radioricevitore Noxon Journaline (immagine © Noxon)

La Radio Digitale

Alcuni produttori hanno poi creato mini ricevitori da utilizzare con gli smartphone per la ricezione della Radio Digitale. Citiamo i più noti: Tivizen con il DMB/DAB+ Dongle per iPhone (figura 4), Lingo con iMini e Nokia con il DAB Digital Radio Headset (auricolari che funzionano anche da ricevitore), di fatto poco diffuso e disponibile solo su pochi modelli.

Fig. 4 – Tivizen DMB/DAB+ Dongle

In Europa, la disponibilità e la vendita di ricevitori sta accelerando. Nel Regno Unito le vendite cumulate hanno superato i 10 milioni di apparecchi, con una crescita pari al 10,6% nel terzo trimestre 2012, mentre in Svizzera sono stati venduti finora oltre 1 milione di dispositivi. Alla crescita del mercato fa riscontro un calo dei prezzi, una dinamica che ridurrà sempre più l'effetto "barriera" al passaggio da analogico a digitale.

5. Multimedialità nella radio digitale: nuovi servizi proposti da Rai

In aggiunta all'elevata qualità audio che la tecnologia digitale permette, la peculiarità più evidente per l'utente e che meglio rappresenta l'adozione del digitale radiofonico DAB+ è la possibilità di poter contestualizzare ed arricchire un programma con immagini (SLS) e testo (DLS). La trasmissione di dati in aggiunta all'audio permette di creare un servizio più completo nell'ottica di un rinnovamento della radio, anche in considerazione del fatto che altre tecnologie (internet, DVB) permettono già un'esperienza radiofonica che non sia solo audio.

A tal proposito, l'offerta che Rai propone sul canale radiofonico digitale si compone di dieci canali (Radio1, Radio2, Radio3, Filodiffusione4, Filodiffusione5, GrParlamento, Isoradio, Webradio6, Webradio7 e Webradio8) ed è già accompagnata da contenuti multimediali che offrono nuovi scenari prima d'ora impraticabili con la tecnologia analogica.

Il lavoro di sperimentazione sullo standard DAB+ condotto dal *Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Rai*, oggi è alla base di quello che è diventato un vero servizio ricevibile nelle zone già coperte dal segnale. Lo sforzo principale ha riguardato l'implementazione di un sistema automatico per il corretto trattamento e la trasmissione dei contenuti multimediali (gestore MIND). Le immagini e le informazioni testuali che è possibile ricevere con i dispositivi abilitati variano per tipologia e sono sempre riferiti al programma in onda. Gli scenari applicativi ed i casi d'uso immaginabili sono diversi.

5.1 Slide Show (SLS)

Attualmente, l'utente che si sintonizza sull'offerta DAB+ di Radio Rai, può ricevere uno slide show (abbreviato con **SLS**) con immagini contestuali al programma e che possono essere raggruppate nelle categorie di seguito descritte:

- **Immagini statiche**

Comprende le immagini che generalmente rimangono fisse per ogni programma, come il logo del canale, il logo del programma, la foto del conduttore. Selezionate opportunamente dalla redazione, se non modificate rimangono sempre valide e vengono trasmesse ogni qualvolta il programma va in onda, in completa sintonia con la programmazione in palinsesto.
La redazione di ciascun programma può personalizzare questo set di immagini inserendo foto e grafici. Questa operazione può essere fatta in anticipo, preparando il set di immagini prima dell'inizio della trasmissione, o in diretta, impattando immediatamente sul flusso di immagini in trasmissione.

- **Codice QR**

I Codici QR[Nota 1] sono immagini dinamiche che vengono prodotte con sistemi automatici e visualizzano il codice QR della trasmissione in onda. Leggendo l'immagine con una delle tante applicazioni per la lettura dei Codici QR (per smartphone ne esistono diverse), l'utente viene indirizzato alla homepage della trasmissione che sta ascoltando, dove può trovare approfondimenti e contenuti aggiuntivi.

- **Info Brano SLS**

Sono immagini create in modo automatico e dinamico con informazioni sul brano in onda e su quello che seguirà, ottenute utilizzando informazioni sul palinsesto in tempo reale. Sono particolarmente adatte per accompagnare canali di sola musica come Filodiffusione4 e Filodiffusione5.

Anche le Webradio (Webradio6, Webradio7 e Webradio8), prima presenti solo sul web ed inserite nell'ensemble della Radio Digitale a Giugno 2014, possono essere arricchite con slide di questo tipo. Contemporaneamente alla messa in onda di un nuovo brano, il sistema provvede a creare un'immagine con i nuovi dati e a inviarla ai sistemi di trasmissione.

- **Webcam in Studio**

Alcuni studi radiofonici sono stati attrezzati con delle Webcam che, catturando immagini ad intervalli periodici, rendono disponibili tali immagini per il servizio di slide show. L'effetto ottenuto è quello di poter conoscere il volto del conduttore o vedere la foto dell'ospite in studio in tempo reale. Alcune trasmissioni su Radio3 utilizzano già queste immagini per arricchire il proprio programma.

- **Sms ascoltatori**

Sono le immagini create con sistemi automatici e che raffigurano il contenuto degli sms inviati dagli ascoltatori. L'idea di utilizzare questo tipo di immagini si basa su un semplice concetto: molti utenti dei servizi radiotelevisivi vogliono condividere messaggi e informazioni con gli altri ascoltatori in modo semplice e immediato. Abilitando la trasmissione di contenuti inviati dagli utenti, le stazioni radiofoniche vanno incontro alle tendenze del pubblico riuscendo a raggiungere nuovi ascoltatori o fidelizzare i vecchi. Questo tipo di servizio è al momento disponibile solo su Isoradio. Prima della loro trasmissione, i contenuti ricevuti vengono validati dalla redazione.

- **Photoblog**

Sono contribuzioni che è possibile aggiungere allo slide show semplicemente scattando una foto con il proprio smartphone e inviandola ad un apposito indirizzo di redazione. Le immagini possono provenire sia da giornalisti, che quindi avrebbero un mezzo efficace ed immediato per contribuire alla trasmissione in onda, sia dagli utenti, che potrebbero diventare loro stessi protagonisti della trasmissione. Anche in questo caso, semplicità e immediatezza sono le caratteristiche del servizio. Allo stato attuale, questo tipo di immagini sono state utilizzate solo a scopo sperimentale e non è ancora nato un vero e proprio servizio per gli ascoltatori.

Nota 1 - QR Code è un marchio registrato di Denso Wave Incorporated

La Radio Digitale

5.2 Dynamic Label Segment (DLS)

In aggiunta all'SLS, la tecnologia digitale DAB+ permette la trasmissione di messaggi di testo brevi (DLS), fino a 128 caratteri. Soprattutto sulle radio digitali che non dispongono di schermi sufficientemente grandi per la ricezione di immagini, il servizio DLS rappresenta un notevole valore aggiunto.

I servizi DLS che Radio Rai trasmette si compongono di un carosello di più messaggi testuali costantemente aggiornati che si alternano ad intervalli regolari (generalmente ogni 15 secondi).

I contenuti testuali utilizzati riguardano le seguenti categorie:

- **News**
  Raggruppa informazioni estratte da varie fonti e che trattano diversi argomenti: politica, sport, cultura, cronaca, ultima ora. Per dare un vero valore aggiunto, le informazioni sono aggiornate costantemente. Questa categoria di informazioni è utilizzata da Radio1, Radio2, Radio3 e Gr Parlamento. Per ogni canale le fonti di informazione utilizzate sono diverse.

- **Info programma**
  Sono utilizzate per contestualizzare il programma con informazioni di palinsesto: titolo del programma in onda e di quello che seguirà. Su tutti i canali dotati di palinsesto è possibile utilizzare questo tipo di DLS.

- **Traffico**
  Raccoglie le principali informazioni sul traffico concentrandole in brevi messaggi di testo. Questa tipo di DLS caratterizza il canale Isoradio.

- **Info Brano DLS**
  Comprende le informazioni sul brano che sta andando in onda e su quello che seguirà, in modo simile a quanto già visto per le immagini (info brano SLS). Le informazioni sono aggiornate in tempo reale. Questi contenuti testuali sono utilizzati su Filodiffusione4 e Filodiffusione5.

5.3 Dynamic label Plus (DL Plus)

Recentemente, sui canali Filodiffusione4 e Filodiffusione5 le informazioni testuali vengono trasmesse utilizzando un'estensione del DLS, il DL Plus. A differenza del DLS, questa variante permette di specificare la semantica del testo trasmesso, indicando quale parte del testo è il titolo del brano, quale l'autore, quale il numero telefonico della trasmissione ecc. Un ricevitore abilitato può quindi trattare queste informazioni in modo opportuno, evidenziando anche graficamente la semantica del testo e permettendo operazioni di Tag.

È bene notare come DL Plus sia compatibile e trasparente per i dispositivi abilitati solo DLS, che quindi semplicemente ignorano l'informazione semantica aggiuntiva.

Altre applicazioni previste dallo standard (BWS – *Broadcast Web Site*, Intellitext, Journaline e altre, si vedano gli standard ETSI [1] e correlati) non sono attualmente in uso.

6. Servizi per l'infomobilità: lo standard TPEG

La Radio Digitale si presta anche al trasporto di informazioni sul traffico. Il TPEG [10][11] è lo standard seguito dal progetto TISA a questo scopo. Rispetto al protocollo TMC, utilizzato su FM RDS, TPEG permette di trasportare una quantità maggiore di dati. Sono stati sviluppati diversi protocolli che utilizzano TPEG come trasporto, come RTM (il primo standard, ormai obsoleto), TEC (il *Traffic Event Compact*, che dovrebbe prendere il posto di RTM), PKI (*Parking Information*), TFP (*Traffic Flow and Prediction*). TPEG ha grandi potenzialità, ma i servizi broadcast che lo trasmettono sono ancora pochi, e i ricevitori non sono ancora disponibili sul mercato Europeo. Gli standard TPEG sono pubblicati da ISO e disponibili a pagamento (al contrario di tutti gli standard relativi al DAB), mentre le versioni di sviluppo sono disponibili solo ai soci TISA. Gli standard più recenti (come TEC e TFP) non sono al momento ancora pubblici.

7. MIND: Gestore dei servizi della Radio Digitale

Al fine di integrare con arricchimenti multimediali i contenuti audio dell'offerta radiofonica sulla piattaforma di Radio Digitale DAB+, il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Rai, in collaborazione con Radio Rai e Rai Way, ha sviluppato la piattaforma **MIND** (***M****ultimedia* ***IN*** ***D****igital radio*). Tale piattaforma è, in pratica, un sistema di Content Management che permette di associare e sincronizzare immagini (**SLS**) e informazioni testuali (**DLS**) a ciascuno dei canali radiofonici distribuiti nella rete DAB+ a livello nazionale. È con questo strumento che la redazione riesce a dialogare con i sistemi di trasmissione, potendo così selezionare l'offerta multimediale da associare ai vari programmi.

Il sistema MIND, ormai operativo dal 2011, permette agli editori di ciascun canale di gestire, tramite un browser Web, i contenuti multimediali associati alla propria offerta. Tra le principali funzioni citiamo ad esempio:

- inserire immagini e testo contestuali al programma radiofonico in onda, secondo diverse modalità: automatica tramite correlazione con il palinsesto, dinamicamente;
- inserire immagini live da webcam in studio abilitate;
- inserire nello slideshow immagini inviate da smartphone (MMS o email) da utenti o giornalisti;
- trasmettere QR code dinamici per facilitare l'accesso a siti web o specifiche App;
- inserire feed di news da sorgenti esterne (informazioni sul traffico, lanci di agenzia).

8. DAB/DAB+: gli aspetti tecnici

Come già detto in precedenza, il DAB (Digital Audio Broadcasting - 1995) individua un sistema di radiodiffusione basato su sistemi di codifica audio digitale, tecniche numeriche di modulazione, codifica di canale e diversity, al fine di migliorare sia la qualità fornita all'utente sia le condizioni di ricezione specialmente in movimento. Recentemente, è stata standardizzata nel 2007 (aggiornata nel 2010) una declinazione del DAB che prende il nome di DAB+, avente come caratteristica principale una maggiore efficienza della codifica audio.

Il DAB è un sistema complesso che definisce aspetti diversi quali la codifica di sorgente, la modulazione, la codifica di canale, il multiplexing e la sincronizzazione.

Lo sviluppo di algoritmi di compressione della sorgente audio (codifica di sorgente) particolarmente efficienti ha reso fattibile la trasmissione di un programma stereofonico digitale di alta qualità su un canale radio di banda inferiore a quella richiesta per i sistemi analogici convenzionali (rif. Modulazione di Frequenza, circa 300 kHz) con modulazioni numeriche a modesta efficienza spettrale, e quindi elevata robustezza.

Inoltre la combinazione di schema di modulazione/codifica di canale/diversity adottato è stato vincente nei confronti dell'ambiente propagativo estremamente avverso in cui si trova ad operare il ricevitore.

8.1 Modi di funzionamento

Il sistema prevede quattro diversi modi di trasmissione legati all'applicazione e alla gamma di frequenze utilizzata. Questi modi si contraddistinguono per una diversa durata dei simboli in trasmissione, per il numero e la spaziatura delle portanti sul canale.

- il **modo I** è adeguato per la realizzazione di reti SFN nelle bande I, II e III (VHF); Frequenza massima di esercizio fino a 340 MHz e distanza massima tra i trasmettitori di 100 km;

- il **modo II** è più adatto a trasmissioni di carattere locale in cui in genere è coinvolto un singolo trasmettitore, ed è previsto per l'utilizzo di frequenze fino a fino a 1380 MHz (bande I, II, III, IV e V);

- il **modo III** è previsto per l'impiego in reti terrestri, via satellite e in cavo con frequenze massima di esercizio fino a 2,7 GHz;

- il **modo IV** è adeguato per la realizzazione di reti SFN fino a 1,7 GHz (banda L) e distanza massima tra i trasmettitori di 50 km.

8.2 Single Frequency Network (SFN) e Multi Frequency Network (MFN)

L'allestimento di una rete a singola frequenza (SFN, *Single Frequency Network*), che è un obiettivo raggiunto dal sistema DAB, ottimizza l'uso delle risorse di frequenza per la trasmissione; pertanto lo SFN è uno strumento di pianificazione importante. Com'è noto, i punti critici di una rete isofrequenziale sono le frange geografiche di copertura dei singoli trasmettitori, dove il campo del trasmettitore principale e quello del trasmettitore limitrofo sono di livello confrontabile e, quindi, possono combinarsi in modo distruttivo dando luogo a dei nulli di ricezione. Il problema è analogo alla ricezione in presenza di echi, ma è aggravato dagli elevati ritardi. Con l'introduzione dell'intervallo di guardia [1] [3], il sistema DAB non soffre di questa situazione, anzi gode della *diversity spaziale* che si viene a creare per la presenza di più raggi, portando ad un guadagno in termini di disponibilità percentuale di ricezione rispetto ad una rete multi frequenza MFM (*Multi Frequency Network*); tale guadagno è chiamato *guadagno di rete*.

Come regola, l'intervallo di guardia τ_g per "ammortizzare" la presenza di più trasmettitori in SFN deve soddisfare alla seguente relazione:

$$\tau_g \le {}^{d}/_{c}$$

dove d rappresenta la distanza tra due trasmettitori e c è la velocità della luce.

8.3 La generazione del segnale DAB

Lo schema a blocchi di figura 5 riguarda la parte di trasmissione del segnale DAB e descrive le operazioni a cui sono soggette le diverse fonti di informazione prima di arrivare al segnale DAB da trasmettere. Sono previsti diversi ingressi per i programmi audio, per servizi dati di uso generale e per informazioni ausiliarie sulla struttura dei servizi in onda.

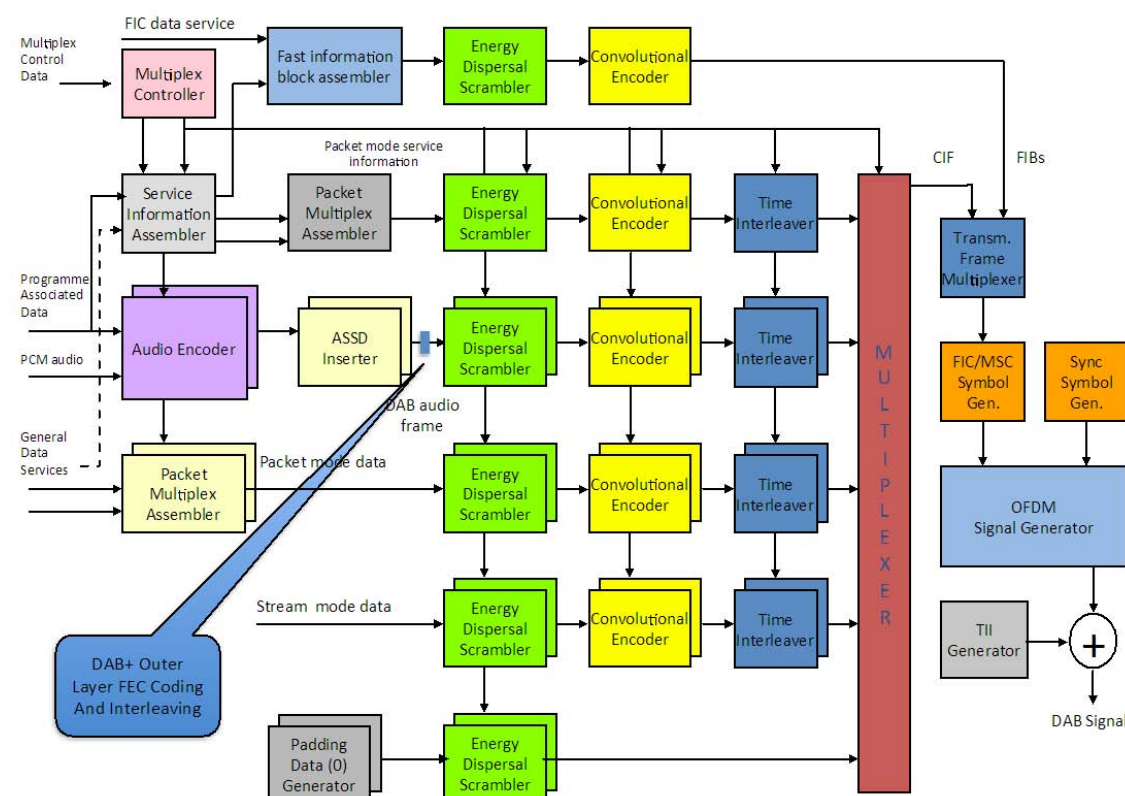



Fig. 5 – Schema concettuale di emissione

Il segnale DAB in uscita dal sistema di emissione può essere visto come somma di tre contributi essenziali, facenti capo a diversi meccanismi di trasporto:

1. un canale principale per il trasporto di tutti i servizi audio e dati di uso generale (*Main Service Channel*, MSC);

2. un canale veloce per convogliare al ricevitore informazioni in modo tale da consentirne un rapido accesso (*Fast Information Channel*, FIC);

3. un canale di sincronizzazione (blocco *sync channel generator*), per consentire al demodulatore funzioni come il recupero del sincronismo, il controllo automatico di frequenza e la stima dei parametri del canale.

Questi diversi meccanismi di trasporto confluiscono nella trama di trasmissione del sistema DAB attraverso diversi livelli di multiplexing.

Per quanto riguarda l'audio, il sistema consente di scegliere a seconda delle esigenze, il numero di programmi e per ognuno di essi il formato di presentazione (stereo, mono, etc.), la qualità (bit-rate) e il grado di protezione, ossia di robustezza del segnale.

Il sistema può inoltre trasportare diversi tipi di dati: di uso generale, associati al programma sonoro, per agevolare la selezione programmi su altre reti, per fornire al ricevitore informazioni sui servizi presenti nel multiplex, etc.

8.4 Il Multiplex

Un blocco DAB occupa una banda di 1,5 MHz e può essere utilizzato per il trasporto di programmi stereofonici di qualità variabile, con la possibilità tuttavia di riconfigurare il multiplex a seconda delle esigenze, suddividendo la capacità disponibile tra programmi audio e servizi dati.

Nel sistema DAB (figura 6) si possono distinguere tre diversi tipi o livelli di multiplex corrispondenti rispettivamente alla trama audio (DAB audio frame), alla trama del segnale DAB trasmesso (DAB signal) e ad una trama intermedia comune ai tre diversi modi di trasmissione (Common Interleaved Frame, CIF).

8.4.1 Multiplex audio DAB/DAB+/DMB

Ogni segnale audio in ingresso, se analogico, viene campionato e sottoposto al processo di codifica di sorgente. Esistono tre possibili forme di codifica per

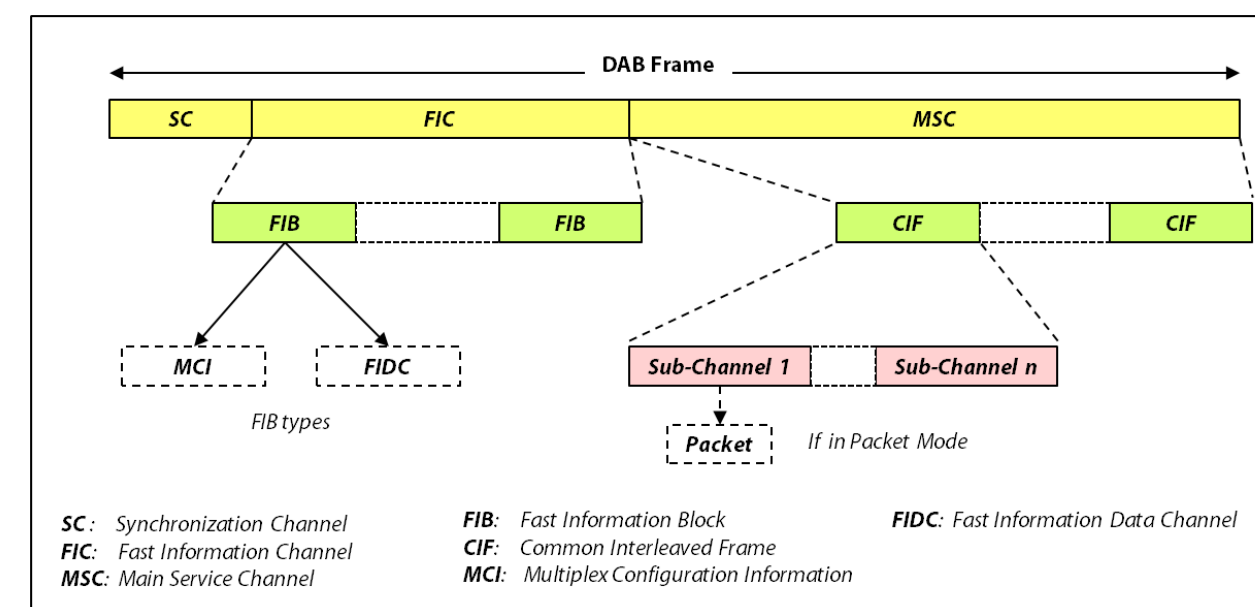



Fig. 6 – Il Multiplex DAB

La Radio Digitale

l'audio in compatibilità con lo standard DAB, DAB+ e DMB; è permesso l'uso di codifica audio mono, stereo, MPEG Surround 5.1.

Standard DAB

Risponde allo specifiche MPEG1 Layer II (ovvero ISO 11172-3 Layer II).

Per ogni programma audio viene creata una trama nella cui struttura è previsto anche il trasporto (2 kbit/s o più) di "dati associati al programma audio" (*Programme Associated Data*, PAD), cioè di dati riguardanti applicazioni che devono essere sincronizzate con il programma audio, ad esempio: testi alfa-numerici inerenti al brano musicale in onda (DLS, SLS), controllo della dinamica del segnale per adattarla all'ascolto in ambienti rumorosi, flag indicatori del tipo di segnale (musica/parlato) che può subire un trattamento differenziato nel decodificatore, etc.

Alla trama audio così costituita vengono in seguito aggiunti i campi necessari per gestire il controllo di accesso e un certo numero di bit di ridondanza che dipende dallo schema di codifica adottato. Nel caso particolare dell' audio, il processo di codifica convoluzionale viene applicato utilizzando, all' interno di ogni singola trama di 24 ms, un rapporto di codifica variabile secondo uno dei possibili profili di protezione predefiniti, al fine di proteggere in modo diverso i bit della trama che hanno diversa importanza. I servizi diversi dall'audio vengono in genere protetti con un codice a rapporto fisso.

Standard DAB+

Il DAB+ utilizza una codifica dell'audio MPEG-4 profilo High Efficiency AAC v2 (HE-AAC v2). Questo codec audio è fino a tre volte più efficiente del MPEG1 Audio Layer II del DAB.

A differenza del DAB servizi audio sono protetti con un codice (FEC) a rapporto fisso.

E' stato standardizzato ETSI TS 102 563 con ultima revisione nel maggio 2010.

L'algoritmo di codifica audio può essere HE-AAC v2, oppure MPEG-4 BSAC (*Bit Sliced Arithmetic Coding*), che a parità di qualità percepita risulta più efficiente del ISO 11172-3 Layer II (DAB). Solo il primo standard è richiesto dalla raccomandazione europea della EBU [R126]. Il video è codificato con MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*).

Questi due elementi confluiscono in un Transport Stream, come specificato in *ISO/IEC 13818-1 MPEG-2 TS*, che a sua volta è sottoposto a Forward Error Correction ed interleaving. Il Transport Stream è trattato a livello di multiplexing come una componente "data streaming".

Standard DMB

DMB è uno standard internazionale ideato in Corea e standardizzato dal WorldDMB [2].

8.4.2 Multiplex principale

Con riferimento alla figura 5, le diverse sorgenti di programma (audio o servizi dati) dopo essere state sottoposte a scrambling, codifica convoluzionale e interleaving nel tempo, confluiscono nel multiplex principale (*Main Service Channel*, MSC) dove, ogni 24 ms, i dati vengono raccolti in sequenza in una trama comune (*Common Interleaved Frame*, CIF).

A questo livello del multiplex i dati sincronizzati di tutti i servizi vengono messi insieme e la trama in uscita è detta "comune" in quanto è indipendente dal modo di trasmissione utilizzato per il segnale trasmesso. In altre parole, l'intervallo temporale di 24 ms adottato, è una base fissa per la costruzione della trama finale che ha invece caratteristiche diverse (come temporizzazione, numero e durata dei simboli sul canale) e variabili a seconda del modo di trasmissione usato. La durata di 24 ms è la stessa della trama audio in modo tale che ogni trama CIF contenga le trame audio dei diversi programmi, una per ogni sorgente. Questo comporta che i diversi programmi audio, di solito originati in studi geograficamente separati, vengano poi multiplexati in modo sincrono nel punto in cui avviene la generazione del segnale DAB. Si rende quindi necessario un meccanismo di buffer per compensare i clock di diverse sorgenti.

La sequenza di bit in uscita dal multiplex principale (MSC) corrisponde ad un flusso lordo di circa 2,3 Mbit/s, equivalente ad un flusso di dati utile variabile tra 0,8 e 1,7 Mbit/s, in funzione del rapporto di codifica scelto per ognuna delle applicazioni inserite nel multiplex.

All'interno di questa trama, i servizi dati possono essere trasportati o con una struttura a pacchetti (*packet mode data*) oppure come blocchi non formattati (*stream mode data*) gestiti in modo asincrono aventi un bit-rate multiplo di 8 kbit/s. Nel caso di trasmissione a pacchetti è possibile trasportare all'interno di un canale logico, contraddistinto da un certo indirizzo di pacchetto, diversi flussi provenienti da altrettanti fornitori di servizi.

8.4.3 Multiplex di trasmissione

Una volta composto il multiplex principale (*Main Service Channel*, MSC) contenente i dati relativi ai diversi servizi, occorre assegnare dinamicamente i simboli della trama alle diverse portanti (interleaving nel dominio della frequenza), aggiungere i simboli per la sincronizzazione del ricevitore e generare infine il segnale modulato COFDM.

All'ingresso del multiplex di trasmissione (*transmission frame multiplexer* in figura 5) si può osservare che oltre al canale principale dei servizi (MSC) prima descritto viene applicato un ulteriore canale per informazioni veloci (*Fast Information Channel*, FIC) che trasporta una serie di dati privilegiati. Esso viene denominato *veloce* in quanto i dati che esso trasporta non sono soggetti ad interleaving nel tempo: in questo modo in ricezione essi sono immediatamente disponibili per la decodifica e inoltre sono interpretabili anche da ricevitori semplificati. I dati privilegiati prima citati contengono, ad esempio, le informazioni relative alla configurazione di tutto il multiplex (*Multiplex Configuration Information*) e le informazioni sui servizi disponibili e la loro allocazione (*Service Information*) all'interno dei canali logici interni al multiplex. Questi dati sono essenziali per il funzionamento di ogni ricevitore in quanto quest'ultimo deve crearsi i puntatori corretti per estrarre dalla trama il programma o i servizi dati richiesti dall'utente. Per questo motivo le informazioni trasportate nel FIC sono protette da un codice convoluzionale con efficienza 1/3 e inoltre vengono ripetute di frequente in modo che il ricevitore possa avere immediato accesso ai servizi. Nel caso di una riconfigurazione del multiplex occorre trasmettere le relative informazioni in anticipo in modo tale che il ricevitore si predisponga alla commutazione senza pregiudicare la continuità dei servizi esistenti.

Inoltre è stato previsto che il canale FIC possa trasportare alcuni particolari servizi dati che, pur non richiedendo un'elevata capacità trasmissiva, devono essere decodificati anche da ricevitori semplici in modo diretto, senza dover accedere a tutto il multiplex di trasmissione. Un esempio è dato dai servizi analoghi a quelli supportati attualmente nel sistema RDS (*Radio Data System*), come il paging (cercapersone) o il canale per messaggi sul traffico (*Traffic Message Channel*, TMC).

9. L'Associazione ARD

ARD[9] è l'*Associazione per la Radiofonia Digitale in Italia*, costituita in data 11 marzo 2008, i cui soci fondatori sono **Aeranti-Corallo**, associazione maggiormente rappresentativa del settore radiofonico locale a carattere commerciale e comunitario con oltre 600 associati, **Rai Way**, la società del Gruppo RAI che gestisce la trasmissione e diffusione del segnale radiotelevisivo per la concessionaria del servizio pubblico, e **RNA** *Radio Nazionali Associate*, che rappresenta la maggioranza degli editori radiofonici nazionali privati.

ARD ha lo scopo primario di promuovere lo sviluppo e l'affermazione della radiofonia digitale, valorizzando il mezzo radiofonico e garantendone l'evoluzione tecnologica, nel rispetto del pluralismo, del servizio ai cittadini, della normativa vigente e senza discriminazioni nei confronti degli operatori del settore. Lo Statuto dell'Associazione delinea due ambiti principali di azione: il primo ha la finalità di

La Radio Digitale

agevolare la regolamentazione, il secondo vuole favorire lo sviluppo e la conoscenza della tecnica radiofonica digitale.

In particolare, l'Associazione, in costante confronto con le istituzioni preposte e le altre autorità competenti in ambito nazionale ed internazionale, intende:

- formulare proposte regolamentari per la transizione al regime ordinario per le trasmissioni digitali radiofoniche, anche multimediali;
- individuare regole comuni di trasmissione del segnale per gli operatori di rete;
- formulare proposte per gli standard tecnici minimi degli apparati di ricezione.

Mentre sul piano della conoscenza e dello sviluppo l'Associazione si adopera per:

- rendere disponibili agli operatori del settore metodologie di testing di apparati e applicazioni;
- promuovere tra gli associati la conoscenza dello stato di evoluzione tecnologica del settore;
- promuovere iniziative di comunicazione e di confronto che coinvolgano tutti gli operatori del settore (broadcasters, operatori di rete, fornitori di contenuti e di servizi, costruttori di apparati, ecc.), nonché i consumatori e gli ascoltatori.

ARD ha creato un documento (ARD-Book) che specifica alcuni requisiti ispirati alla Raccomandazione EBU R126 [6] per armonizzare i profili dei ricevitori digitali. I produttori che si conformeranno, attraverso una autocertificazione, ai requisiti richiesti da ARD per ognuna delle suddette tre classi, saranno legittimati, in base ad uno specifico accordo contrattuale con ARD, a contraddistinguere i propri ricevitori con i seguenti "bollini":

- *Bollino bianco ARD*, per la Classe A – Servizi Audio;
- *Bollino blu ARD*, per la Classe B – Servizi Radio Visuale;
- *Bollino verde ARD*, per la Classe C – Servizi Radio Interattiva.

I produttori, inoltre, permetteranno a ARD di eseguire direttamente e/o tramite terzi, test sui ricevitori contraddistinti dai suddetti bollini in modo tale da accertare che i ricevitori stessi rispettino i requisiti richiesti da ARD.

10. Conclusioni

L'articolo ha delineato molti aspetti del sistema DAB: lo sviluppo e la regolamentazione in Italia, l'adozione in Europa e nel mondo, le possibili date di spegnimento dei segnali analogici, i servizi offerti agli ascoltatori e le caratteristiche tecniche di questa tecnologia. Il sistema DAB per la Radio Digitale sta conoscendo in questi anni una veloce espansione in Europa, grazie a una flessibilità che gli ha permesso di rimanere attuale dalla sua creazione nel 1995, e grazie a vantaggi concreti sia agli ascoltatori sia per i broadcaster. Anche l'Italia, tra le prime nazioni a sperimentare questa tecnologia, ha ripreso i piani di sviluppo e il segnale raggiunge ad oggi il 65% della popolazione. Rai ha deciso di investire in questa tecnologia e, nei prossimi anni, la Radio Digitale raggiungerà la maggior parte della popolazione in Italia, così come sta avvenendo in molte nazioni Europee. L'evoluzione dei media verso il digitale abbraccerà così anche la radio, uno dei più diffusi e seguiti mezzi di comunicazione.

Bibliografia

[1] ETSI EN 300 401 V 1.4.1 (2006-01), *Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers*

[2] ETSI TS 102 428 V 1.2.1 (2009-04), *Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User application specification*

[3] P. Casagranda, A. Gallo, S. Ripamonti, *Il Sistema DAB/DAB+/DMB per la Radio Digitale*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LVIII, Numero 2, Agosto 2009, pp 62-65

[4] G. Alberico, P. Casagranda, F. Russo, *Servizi Multimediali per la Radio Digitale*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LIX, Numero 1, Aprile 2010, pp 12-21

[5] P. Casagranda, *La Radio Ibrida. L'evoluzione della radio diffusiva secondo il Progetto RadioDNS*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LX, Numero 3, Dicembre 2011, pp 29-34

[6] EBU Recommendation R126-2009, *Digital Radio Broadcasting: Common European Digital Radio Profiles*, Gennaio 2009

[7] EBU Recommendation R138-2013, *Digital Radio Distribution in Europe*, Febbraio 2013

[8] Sito "RadioDNS Project", *http://radiodns.org/*, ultimo accesso 18 Giugno 2014

[9] Sito "Associazione per la Radiofonia Digitale in Italia", *http://www.arditalia.it/*, ultimo accesso 18 Giugno 2014

[10] ISO/TS 24530-{1-4}:2006, *Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Experts Group (TPEG) Extensible Markup Language (XML) – Part {1-4}*

[11] ISO/TS 18234-{1-11}:2013, *Intelligent transport systems – Traffic and travel information via transport protocol experts group, generation 1 (TPEG1) binary data format – Part {1-11}*

[12] Sito "DIGITALRADIO", *http://www.digitalradio.it/*, ultimo accesso 18 Giugno 2014

[13] Sito "World DMB Forum", *http://www.worlddab.org/*, ultimo accesso 18 Giugno 2014

Codifica video:

gli standard di compressione ISO/IEC MPEG – ITU-T

Paola **Sunna**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

1. Introduzione

Nella teoria delle comunicazioni, le tecniche per la riduzione del bit-rate hanno come scopo quello di eliminare nel modo più efficiente possibile tutte le ridondanze presenti nel segnale audio-video originale, in particolare le ridondanze spaziali a livello di singolo quadro e le ridondanze temporali tra quadri successivi di una sequenza televisiva.

La trasmissione completa dell'informazione contenuta nel segnale televisivo numerico, descritto nelle raccomandazioni ***ITU-R BT.601*** [1], ***ITU-R BT.709*** [2] e ***ITU-R BT.2020*** [3], rispettivamente per la *standard*, la *high* e la *ultra-high definition*, richiederebbe la generazione di un flusso binario caratterizzato da un bit-rate estremamente elevato (da 166 Mbps fino a 12Gbps) che eccederebbe la capacità di un canale di trasmissione tradizionale; per ovviare a questo problema è necessario adottare sistemi in grado di comprimere l'informazione originaria al fine di ridurre la banda occupata.

Questo articolo fa riferimento ad una serie di standard di compressione definiti congiuntamente dagli organismi di standardizzazione **ISO/IEC MPEG** e **ITU-T**, standard che sono riusciti ad ottenere un consenso a carattere universale sia per quanto riguarda la loro adozione da parte di diversi settori merceologici (informatica, telecomunicazioni, *broadcasting* e *consumer*) sia a livello di copertura geografica.

Scopo di questo articolo è quello di fornire una panoramica delle principali differenze tra i due sistemi di compressione del segnale video AVC (Advanced Video Coding)/H.264) e HEVC (High Efficiency Video Coding)/H.265; in particolare HEVC è il successore di AVC ed è stato rilasciato ufficialmente come standard nel 2013 dal gruppo di lavoro congiunto ISO/IEC MPEG e ITU-T denominato JCT-VC (Joint Collaborative Team - Video Coding). HEVC, come AVC, si basa sulla codifica a blocchi dell'immagine e sullo sfruttamento della ridondanza spaziale e temporale che caratterizza il segnale video, ma rispetto ad AVC, i singoli tool di codifica sono stati ottimizzati, al fine di ottenere la stessa qualità soggettiva (qualità visiva percepita) con una riduzione del bit-rate dell'ordine di circa il 50%.

2. ISO/IEC MPEG e ITU-T

L'**ISO/IEC MPEG** (*Moving Picture Experts Group*), formalmente ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, è un comitato tecnico congiunto delle organizzazioni internazionali ISO (International Standardization Organization) e IEC (International Electrotechnical Commission) incaricato di definire standard per la rappresentazione e compressione dei segnali audio, video ed altre tipologie di contenuti multimediali in formato digitale. L'**ISO** è una *federazione non governativa*, costituita nel 1947, che abbraccia oltre 130 enti normatori di altrettante nazioni a livello mondiale. L'ISO promuove lo sviluppo e l'unificazione normativa per consentire e facilitare lo scambio dei beni e dei servizi. Coordina l'ambiente scientifico, tecnologico ed economico e fissa riferimenti vincolanti per una vastità di settori quali informatica, meccanica, elettrotecnica, ecc. I lavori dell'ISO sono il risultato di lunghi accordi internazionali e danno luogo a Norme Internazionali (*International Standard*). I Paesi aderenti all'accordo, tramite i singoli comitati di standardizzazione nazionali, s'impegnano a introdurre gli *International Standard* nelle corrispondenti norme nazionali. L'**IEC** è, invece, un'organizzazione internazionale che si occupa della definizione di standard in materia di elettricità, elettronica e tecnologie correlate. La IEC è stata fondata nel 1906 e ad essa attualmente partecipano più di 60 paesi.

L'**ITU-T** (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*) è l'agenzia delle Nazioni Unite specializzata nelle tecnologie per l'informazione e le comunicazioni. **ITU-T** riunisce esperti da tutto il mondo allo scopo di sviluppare standard internazionali, noti come *Raccomandazioni ITU-T*, che hanno come oggetto le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (*Information and Communication Technology*, ICT).

3. Standard di compressione

Nel corso degli ultimi vent'anni, ***ISO/IEC MPEG*** e ***ITU-T*** hanno pubblicato congiuntamente tre standard, che si sono susseguiti nel tempo ottenendo sempre una diffusione universale per quanto riguarda sia l'aspetto geografico (standard adottati ovunque nel mondo) sia l'aspetto merceologico (standard adottati in più campi applicativi). Si tratta degli standard:

- ***H.262/MPEG-2***, datato 1995 [4]
- ***H.264/AVC*** (*Advanced Video Coding*), datato 2003-2004 [5]
- ***H.265/HEVC*** (*High Efficiency Video Coding*), datato 2013 [6]

I tre standard sopra menzionati, ***MPEG-2***, ***AVC*** e ***HEVC***, condividono lo stesso approccio basato su:

a) compressione senza perdita di informazione basata sullo sfruttamento della *ridondanza spaziale* (correlazione tra pixel adiacenti nel quadro, scomposizione dell'immagine a blocchi), della *ridondanza temporale* (correlazione tra quadri/semiquadri nel tempo) e sulla *codifica entropica*;
b) compressione con eliminazione dell'*irrilevanza*, ossia di quell'informazione non più ricostruibile dal decodificatore, ma non percepibile dal sistema visivo umano (codifica psico-visiva);
c) compressione con perdita di informazione legata al processo di *quantizzazione*;

ma si differenziano per i *tools* che sono stati integrati in ciascuno di essi al fine di migliorare le prestazioni, in termini di efficienza di compressione, rispetto al predecessore.

Per i dettagli su ***MPEG-2*** si rimanda allo standard [4] mentre nel seguito si descrive il funzionamento dei più recenti standard ***AVC*** e di ***HEVC***.

4. AVC (Advanced Video Coding)

Nel 2001, gli Organismi di standardizzazione **ISO/IEC MPEG** e **ITU-T**, e in particolare per quest'ultimo il **VCEG** (*Video Coding Expert Group*), costituiscono il **JVT** (*Joint Video Team*) per la definizione di un sistema avanzato di codifica, denominato ***H.264/AVC*** con

Codifica video

prestazioni superiori a quelle di ***MPEG-2***.

Nel corso del 2003 ***AVC*** viene integrato come ***Parte 10*** dello standard ***MPEG-4 ISO/IEC 14496*** e, con il nome di ***H.264,*** in **ITU** [5] e l'approvazione finale congiunta da parte di **ISO** e **ITU** avviene nell'ottobre del 2004.

Il sistema ***AVC*** specifica la codifica del video, **VCL** (*Video Coding Layer*), ed il formato con cui organizzare i dati video per il trasporto e la memorizzazione, **NAL** (*Network Abstraction Layer*).

Lo standard ***AVC***, così come avviene nel caso di ***MPEG-2***, definisce la sintassi del flusso dati ed il metodo di decodifica e, costituendo un nuovo sistema di codifica, non è compatibile con i ricevitori ***MPEG-2***.

La versione attuale include 21 profili ciascuno dei quali ottimizzato per una applicazione specifica. Di seguito si riportano i profili rivolti principalmente alle applicazioni in ambito televisivo:

a) *Baseline Profile*, destinato ad applicazioni a basso ritardo *end-to-end*, applicazioni mobili, videotelefonia;
b) *eXtended Profile*, per applicazioni mobili e per *streaming*;
c) *Main Profile*, rivolto ad applicazioni diffusive SDTV (*Standard Definition TeleVision*). Utilizza 8 bit per la rappresentazione digitale dei campioni e il formato di crominanza 4:2:0;
d) *High profile*, rivolto ad applicazioni diffusive HDTV (*High Definition Television*) e memorizzazioni su supporti ottici. Utilizza 8 bit per la rappresentazione digitale dei campioni e il formato di crominanza 4:2:0;
e) *High 10 profile*, supporta il formato di crominanza 4:2:0 e 10 bit per la rappresentazione digitale dei campioni;
f) *High 4:2:2 profile*, supporta il formato di crominanza 4:2:2 e fino a 10 bit per la rappresentazione digitale dei campioni;
g) *High 4:4:4 profile*, supporta fino al formato di crominanza 4:4:4 e rappresentazioni digitali dei campioni fino a 12 bit.

I profili *High 10 profile*, *High 4:2:2 profile* e *High Profile 4:4:4* vengono generalmente utilizzati per applicazioni professionali di contribuzione, produzione/ editing in studio.

Lo schema a blocchi di riferimento per il codificatore ***AVC*** è riportato nella figura 1.

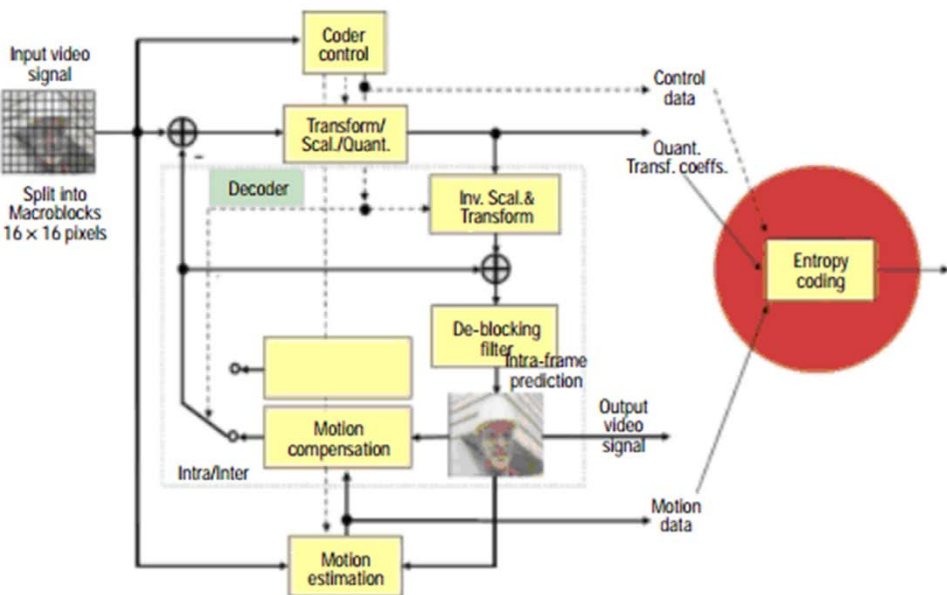



Fig. 1 – Codificatore AVC

L'efficienza di codifica di un codificatore ***AVC*** realizzato secondo la norma H.264 è superiore di circa il 50% rispetto a quella di MPEG-2 per le differenze riportate qui di seguito:

a) H.264 utilizza blocchi di dimensione e forma variabile rispetto al blocco di dimensione fissa 16×16 di MPEG-2 realizzando, in questo modo, un risparmio di bit-rate che può arrivare fino al 15%;
b) la precisione nella stima dei vettori movimenti in H.264 è più precisa che in MPEG-2: (1/4 di pixel in H.264 contro 1/2 in MPEG-2) e consente di ridurre il *bit-rate* necessario alla codifica fino al 20%;
c) H.264 utilizza fino a un massimo di cinque quadri per la stima del movimento contro i due di MPEG-2 con un guadagno di *bit-rate* compreso tra il 5 e il 10%;
d) riduzione della ridondanza spaziale: H.264 utilizza una ***trasformata intera*** invece della ***DCT*** (*Discrete Cosine Transform*)allo scopo di ridurre la perdita di precisione in seguito alla trasformata inversa;
e) quantizzazione: H.264 utilizza un maggiore numero di livelli di quantizzazione, 52 contro i 31 di MPEG2;
f) codifica entropica: H.264 utilizza tecniche più complesse quali **CAVLC** (*Context-Adaptive Variable Length Code*) e **CABAC** (*Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding*), ma più efficienti rispetto all'uso di tabelle **VLC** (*Variable Lenght Code*) statiche di MPEG-2;
g) uso di un *deblocking filter*: lo standard H.264, a differenza di quello MPEG-2, utilizza per il *deblocking* un filtro adattativo che consente di migliorare le aberrazioni visive (presenza di una struttura a blocchi che permea tutta l'immagine) dovute alla perdita di dati per effetto di un processo di compressione molto spinto, quale quello effettuato in questo caso sul segnale video. H.264, a differenza di MPEG-2, utilizza questo filtro adattativo allo scopo di ridurre l'effetto della disposizione in blocchi sulla sequenza decodificata, effetto che pregiudica drasticamente la qualità percepita dall'utente finale.

La maggiore efficienza (definibile come la riduzione di *bit-rate* ottenibile a parità di qualità soggettiva) di H.264 rispetto a MPEG-2 si paga però in termini di aumento della complessità sia del codificatore sia del decodificatore, come risulta evidente dalle indicazioni riportate nella tabella 1.

Nel 2009 è stata rilasciata l'estensione di AVC che copre la codifica del segnale 3D, stereoscopico e multi viste.

Tab. 1 – Complessità di AVC rispetto a MPEG-2

Profilo	***Stima preliminare dell'efficienza rispetto a MPEG2***	***Aumento della complessità stimata per il decodificatore H264****
Baseline	Circa 1,5	Circa 2,5 volte
Extended	Circa 1,75	Circa 3,5 volte
Main	Circa 2	Circa 4 volte
***Il codificatore è circa 8 volte più complesso**		

5. HEVC (High Efficiency Video Coding)

Dopo la finalizzazione di **AVC** *High Profile* nel 2004, **ITU-T VCEG** e **ISO/IEC MPEG** hanno fatto nuovamente partire un'attività esplorativa al fine di capire se ulteriori miglioramenti in termini di efficienza di compressione fossero possibili rispetto ad **AVC**. La risposta è stata affermativa e nel 2010 è stato creato un gruppo di lavoro congiunto **JCT-VC** (*Joint Collaborative Team- Video Coding*) che ha emesso una "*call for proposals*" tramite la quale sono state raccolte 27 proposte. I *tools* migliori sono stati verificati, selezionati e raccolti per dare vita al nuovo sistema di compressione **H.265/HEVC**. La versione *draft* dello standard è stata rilasciata a Gennaio 2013 mentre **ITU-T** ha rilasciato quella ufficiale ad Aprile 2013 [6] e **ISO/MPEG** a Novembre 2013.

Come i suoi predecessori **MPEG-2** e **AVC**, **HEVC** continua ad essere un sistema di compressione basato sulla codifica a blocchi e sullo sfruttamento della ridondanza spaziale e temporale che caratterizza il segnale video, ma i diversi *tools* di codifica sono stati ottimizzati allo scopo di ottenere la stessa qualità soggettiva di **AVC** utilizzando però soltanto metà del *bit-rate*. **HEVC** inoltre è stato concepito per essere efficiente anche per risoluzioni video, **UHD-1** e **UHD-2**[Nota 1], superiori all'alta definizione e per sfruttare architetture capaci di *processing* parallelo.

Lo schema a blocchi del codificatore HEVC è riportato in figura 2 e ricorda quello di AVC tranne per le differenze sintetizzate di seguito:

a) la dimensione del blocco di codifica è passata da 16x16 pixel ad un massimo di 64x64 *pixel* al fine di sfruttare meglio le ridondanze tra *pixel* adiacenti, particolarmente evidenti al crescere della risoluzione del segnale video;
b) l'accuratezza delle predizioni *intra* (nell'ambito dello stesso quadro) e *inter* (tra quadri diversi) è stata migliorata aggiungendo più modi di codifica e filtri interpolatori più precisi;
c) tecniche sofisticate sono state adottate per compattare ulteriormente l'occupazione dei vettori movimento;
d) le prestazioni della codifica entropica sono state ottimizzate;

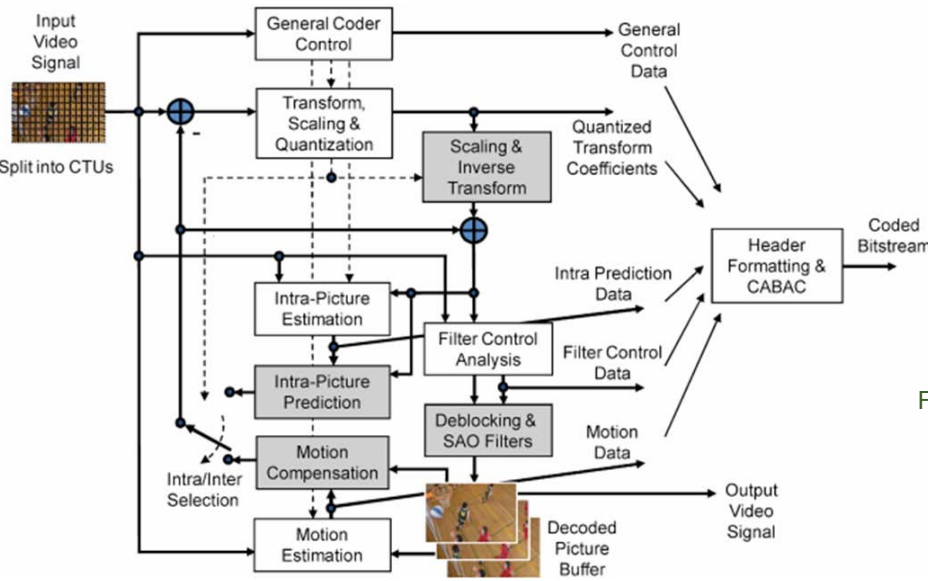



Fig. 2 – Codificatore HEVC (tratto da [7])

Nota 1 - **UHD** (*Ultra High Definition*): **UHD-1** si riferisce ad una risoluzione di 3840x2160 pixel, quattro volte superiore a quella dell'alta definizione; **UHD-2** si riferisce ad una risoluzione di 7680x4320 pixels, otto volte quella dell'alta definizione.

e) dopo il filtro di *de-blocking* è stato aggiunto un altro filtro che migliora ulteriormente la qualità del segnale ricostruito;
f) sono stati introdotti *tools* per il *processing* parallelo. Questi *tools* però non sono obbligatori e il loro utilizzo o meno è a discrezione del costruttore.

La tabella 2 riporta in dettaglio le differenze tra **AVC** e **HEVC**.

La complessità dell'encoder è di circa 10 volte superiore a quella di un codificatore **AVC** mentre la complessità del decoder **HEVC** è di circa 2-3 volte superiore a quella di **AVC**.

I profili attualmente definiti nella specifica sono:

1) ***Main Profile***: utilizza il formato di crominanza 4:2:0 e una rappresentazione digitale dei campioni su 8 bit;
2) ***Main 10 Profile***: utilizza il formato di crominanza 4:2:0 e una rappresentazione digitale dei campioni a 8 e 10 bit;
3) ***Main Still Profile***: utilizza il formato di crominanza 4:2:0 e una rappresentazione digitale dei campioni su 8 bit come nel caso *Main Profile*, ma si utilizza per la codifica di singole immagini (*single still picture)*.

Ulteriori estensioni di **HEVC** verranno rilasciate nei prossimi due anni; in particolare:

- estensioni per il supporto di formati di crominanza 4:2:2 e 4:4:4 fino a 14 bit per la rappresentazione digitale dei campioni;
- scalabilità spaziale;
- codifica 3D stereoscopica e multi vista.

Tab. 2 – Confronto tra AVC e HEVC (realizzazione delle funzionalità)

Funzionalità	*AVC High Profile*	*HEVC Main Profile*
Coding Unit Structure	16x16 Macroblocks	***Coding Tree Block***: 64x64, 32x32, 16x16 ***Coding Unit***: 64x64 to 8x8 in quad-square-tree structure
Prediction Structure	Partitions down 4x4	***Prediction Unit*** : 64x64 down to 4x4; square, symmetric and asymmetric
Transform Structure	8x8 and 4x4 transforms	***Transform Units***: 32x32, 16x16, 8x8, 4x4
Core Transform	*Integer DCT*	*Integer DCT* type for 32x32, 16x16, 8x8, 4x4 *Integer DST* type for 4x4
Intra predictions	Intra predictions (9 directions)	Intra prediction (33 angular modes with planar and DC modes)
Luma interpolation	6-tap filtering to ½ pel followed by bilinear interpolation to ¼ pel	8-tap filter to ½ pel and 7-tap filter to ¼ pel
Chroma interpolation	Bilinear interpolation	4-tap to 1/8 pel
Motion Vector	Motion Vector Prediction	Advanced Motion Vector Prediction (spatial and temporal)
Entropy Coding	CABAC, CAVLC	CABAC
De-blocking filter	In-loop deblocking filter	In-loop deblocking filter
Sample Adaptive Offset	no	yes
Dedicated tools for parallel processing	Slices	Slices, dependent slices, tiles and wavefronts

Bibliografia

[1] Recommendation ITU-R BT.601, *Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios*, 1983 e versioni successive

[2] Recommendation ITU-R BT.709, *Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange*, Novembre 1993 e versioni successive

[3] Recommendation ITU-R BT.2020, *Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange*, Agosto 2012 e versioni successive

[4] Recommendation ITU-T H.262, *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information – Video*, 1994 e versioni successive

[5] Recommendation ITU-T H.264, *Advanced video coding for generic audiovisual services*, Maggio 2003 e versioni successive

[6] Recommendation ITU-T H.265, *High efficiency video coding*, Aprile 2013 e versioni successive

[7] G. J. Sullivan, J-R. Ohm, W-J. Han, T. Wiegand, *Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard*, in "IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology", Volume 22, Numero 12, Dicembre 2012, pag 1649-1668

HEVC:

efficienza di compressione su sequenze TV 2D e 3D

Daniele **Airola Gnota**, Paola **Sunna**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Scopo del seguente articolo è quello di fornire una panoramica sulle prestazioni in termini di efficienza di codifica del nuovo sistema di compressione HEVC (High Efficiency Video Coding) rispetto al suo predecessore AVC (Advanced Video Coding) su sequenze televisive 2D e 3D.

I risultati riportati si riferiscono a misurazioni di tipo oggettivo ed in particolare esprimono il risparmio di bit-rate conseguibile con HEVC a parità di rapporto segnale rumore.

Grazie all'ottimizzazione dei singoli tool di codifica, le prestazioni di HEVC sono superiori a quelle di AVC soprattutto al crescere della risoluzione del segnale video: il risparmio di bit-rate passa dal 37% nel caso di sequenze HD (High Definition) al 45% per le sequenze UHD (Ultra High Definition). Le estensioni 3D di HEVC consentono di ridurre il bit-rate necessario rispetto alla trasmissione simultanea delle due viste di circa il 30%.

1. Introduzione

Il lavoro congiunto dell'*ITU-T Video Coding Experts Group* (**VCEG**) e dell'*ISO/IEC Moving Picture Experts Group* (**MPEG**) ha portato al rilascio, nel 2013, di un nuovo standard di compressione video: *ITU-T H.265/ MPEG-H Part 2 High Efficiency Video Coding* (**HEVC**).

Questo articolo riporta le prestazioni, in termini di efficienza di compressione, di **HEVC** rispetto al suo predecessore *ITU-T H.264/MPEG-4 Part 10 Advanced Video Coding* (**AVC**) valutate su sequenze televisive 2D e 3D.

L'argomento di questo articolo è stato trattato più approfonditamente in [1].

2. HEVC versus AVC

Lo standard di compressione **HEVC**, come già **AVC**, è basato sulla codifica a blocchi dell'immagine e sullo sfruttamento della ridondanza spaziale e temporale, ma i singoli tool di codifica sono stati ottimizzati in modo da conseguire la stessa qualità soggettiva, ossia percepita, con una riduzione di bit-rate dell'ordine di circa il 50%.

Le principali differenze tra **HEVC** e **AVC** riguardano:

- l'aumento della dimensione massima del blocco di codifica, passata da 16x16 pixel a 64x64, al fine di sfruttare meglio la correlazione spaziale tra pixel adiacenti, soprattutto nel caso di segnali

HEVC

con risoluzione superiore all'alta definizione;
- il miglioramento delle tecniche di predizione e di ottimizzazione della trasmissione dei vettori movimento;
- l'ottimizzazione della codifica entropica;
- il miglioramento della qualità del segnale decodificato grazie all'aggiunta di un ulteriore filtro oltre a quello di de-blocchetizzazione;
- l'introduzione di tool per il processamento parallelo dell'informazione.

Maggiori dettagli si possono trovare in [2] mentre per una descrizione più approfondita di **HEVC** si rimanda agli articoli [3] e [4].

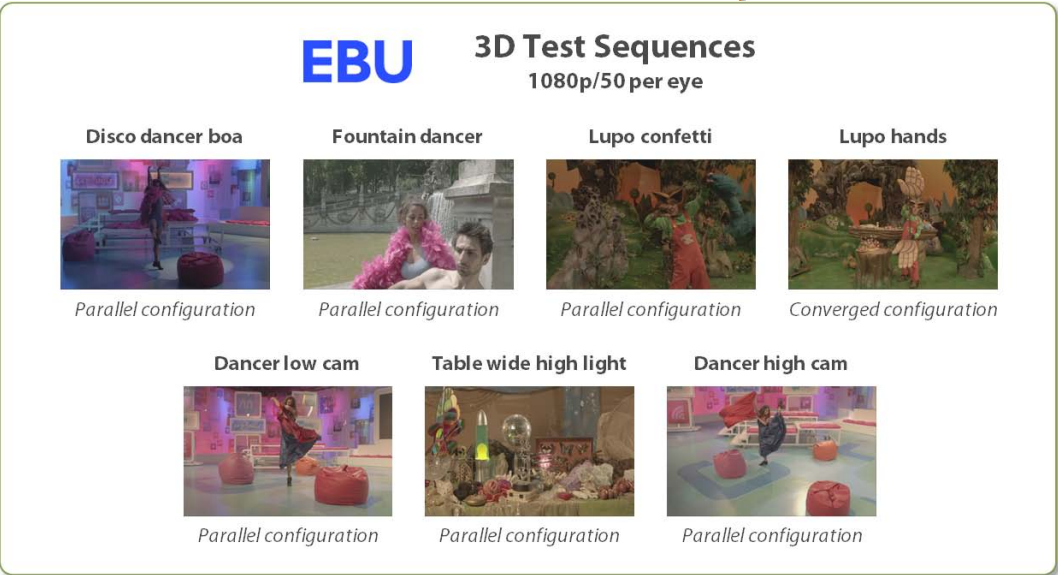
3. Sequenze di test e software di riferimento

Le sequenze per i test sono state quelle riprese a Giugno 2012 [5] nel contesto di una collaborazione tra diversi partner industriali e l'**EBU** (*European Broadcasting Union*). Si tratta di materiale **UHD** (*Ultra High Definition*) 3840x2160 pixels a 50 frames per secondo e di materiale stereoscopico in formato 1080p/50 per occhio. In figura 1 e figura 2 sono mostrati i contenuti utilizzati.

Fig. 1 – Sequenze di test 2D

EBU 3D Test Sequences
1080p/50 per eye

Disco dancer boa – Parallel configuration
Fountain dancer – Parallel configuration
Lupo confetti – Parallel configuration
Lupo hands – Converged configuration
Dancer low cam – Parallel configuration
Table wide high light – Parallel configuration
Dancer high cam – Parallel configuration

Fig. 2 – Sequenze di test 3D

Materiale	Confronto	Software di codifica	Profondità di bit	Sequenze
2D	**HEVC Main Profile** *versus* **AVC High profile**	HM10.0 (HEVC) *versus* JM 18.4 (AVC)	8 bit	2160p50 1080p50 720p50
	HEVC: Main Profile *versus* **Main10 Profile**	HM10.0 (HEVC)	8 bit 10 bit	2160p50
3D	**Simulcast** *versus* **MV-HEVC**	3D-HTM 6.1	8 bit	1080p50
	Simulcast *versus* **3D-HEVC**	3D-HTM 6.1	8 bit	1080p50

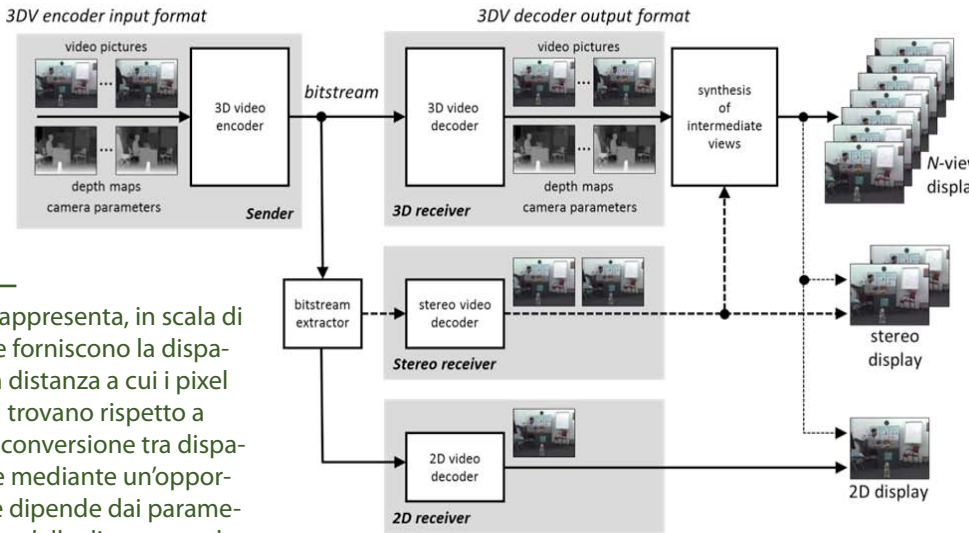
Tab. 1 – Software di codifica e caratteristiche delle sequenze

La valutazione condotta è stata di tipo oggettivo utilizzando il **BD-Rate** (*Bjøntegaard Delta-Rate* [6]) che permette di esprimere la percentuale di bit-rate risparmiato (segno negativo nelle tabelle successive) a parità di rapporto segnale-rumore conseguito.

La tabella 1 riporta i software di riferimento impiegati per le codifiche e le risoluzioni utilizzate.

MV-HEVC e **3D-HEVC** si riferiscono alle estensioni 3D di **HEVC** che dovrebbero essere finalizzate come standard rispettivamente nel 2014 e nel 2015 ed il cui scopo è quello di generare un bit-stream (figura 3) codificando diverse viste della stessa scena e *mappe di profondità* [Nota 1], in grado alimentare diverse tipologie di display e in particolare:

- *display 2D*: alimentato estraendo soltanto una delle viste disponibili nel bit-stream;
- *display stereoscopico*: vista destra e sinistra;
- *display auto stereoscopico*: oltre a tutte le viste presenti nel bit-stream sintetizzando anche quelle intermedie grazie alle informazioni contenute nelle mappe di profondità.

Fig. 3 – Catena di co-decodifca per le estensioni 3D di HEVC [7]

Nota 1 - La *mappa di profondità* rappresenta, in scala di grigi, le informazioni che forniscono la disparità tra due viste, ossia la distanza a cui i pixel della vista considerata si trovano rispetto a quella di riferimento. La conversione tra disparità e profondità avviene mediante un'opportuna trasformazione che dipende dai parametri intrinseci della camera, dalla distanza tra le due camere, dalla distanza dei piani di scena più lontano e più vicino alle camere.

La principale differenza tra **MV-HEVC** e **3D-HEVC** risiede nel fatto che nel primo le immagini e le mappe vengono compresse separatamente mentre in **3D-HEVC** vengono compresse congiuntamente per sfruttare meglio le correlazioni esistenti. Per gli approfondimenti si rimanda alla letteratura [8], [9] e [10].

4. Risultati

L'efficienza di codifica di **HEVC** rispetto ad **AVC** è di circa il 37% e cresce al crescere della risoluzione presa in considerazione fino ad arrivare a circa il 45% per le sequenze **UHD** 2160p50 (tabella 2).

La codifica a 10 bit consente di risparmiare, sulle sequenze considerate, circa l'8% rispetto alla codifica a 8 bit: dato un certo valore di rapporto segnale rumore, un segnale codificato a 10 bit può essere, infatti, quantizzato più pesantemente di uno a 8 bit mantenendo la stessa qualità finale; inoltre, utilizzando 10 bit si ottengono predizioni più precise e, di conseguenza, residui più piccoli da trasmettere (tabella 3).

Rispetto alla trasmissione simultanea delle singole viste, utilizzando le estensioni 3D previste per **HEVC** si arriva a risparmiare circa il 29% e 30%, rispettivamente per **MV-HEVC** e **3D-HEVC**. Le prestazioni di **3D-HEVC**, grazie ad alcuni miglioramenti introdotti a livello di tools di codifica, sono leggermente migliori di quelle di **MV-HEVC** (tabella 4).

Risoluzione	***BD-rate Medio***
2160p50	-44.9%
1080p50	-35.4%
720p50	-30.1%
All	-36.8%

Tab. 2 – **HEVC** versus **AVC**: risparmio di bit-rate (8bit)

Sequenze 2160p50	**BD-rate Medio**
lupo_candlelight	-15.9%
rain_fruits	-5.7%
fountain_lady	-5.3%
lupo_confetti	-6.2%
waterfall_pan	-6.2%
All	-7.8%

Tab. 3 – **HEVC 10-bit** versus **HEVC 8-bit**: risparmio di bit-rate

Confronto	**1080p50 per occhio BD-rate Medio Symmetric quality**
MV-HEVC *vs* **Simulcast**	-28.6%
3D-HEVC *vs* **Simulcast**	-30.4%
3D-HEVC *vs* **MV-HEVC**	-2.0%

Tab. 4 – Risparmio di bit-rate estensioni **3D HEVC** rispetto al **simulcast**

Bibliografia

[1] D. Airola, M. Arena, M. G. Cucca, P. Sunna, *HEVC compression efficiency evaluation on 2D and 3D TV sequences*, IBC 2013 Conference, Amsterdam, 11-15 Settembre 2013

[2] P. Sunna , *Codifica video: gli standard di compressione ISO/IEC MPEG – ITU-T* , in "Elettronica e Telecomunicazioni", questo stesso numero

[3] G. J. Sullivan, J-R. Ohm, W-J. Han, T. Wiegand, *Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard*, in "IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology", Volume 22, Numero 12, Dicembre 2012, pag 1649-1668

[4] T. Schierl, M.-M. Hannuksela, Y.-K. Wang, S. Wenger, *System Layer Integration of High Efficiency Video Coding*, in "IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology", Volume 22, Numero 12, Dicembre 2012, pag. 1871-1884

[5] H. Hoffmann, A. Kouadio, Y. Thomas, M. Visca , *The Turin Shoot*, in *"EBU Tech-i", Numero 13*, Settembre 2012, pag. 8-9

[6] G. Bjøntegaard, *Calculation of average PSNR differences between RD-curves*, ITU-T Q.6/SG16 VCEG, VCEG-M33, Aprile 2001

[7] G. Tech, K. Wegner, Y. Chen, S. Yea, *JCT3V-D1005 - 3D-HEVC Test Model 4*, Giugno 2013

[8] D. Rusanovskyy, K. Müller, A. Vetro, J.-R. Ohm, *JCT3V-A1006 - White Paper on State of the Art in 3D Video*, Luglio 2012.

[9] A. Vetro, D. Tian, *Analysis of 3D and Multiview Extensions of the Emerging HEVC Standard*, in "Proc. SPIE Vol. 8499, Applications of Digital Image Processing XXXV", Agosto 2012 [disponibile anche in "Mitsubishi Electric Research Laboratories - *TR2012-068*", Agosto 2012]

[10] D. Rusanovskyy, K. Müller, A. Vetro, *JCT3V-C1100 - Common Test Conditions of 3DV Core Experiments*, Gennaio 2013

A cura della Redazione

Progetto TOSCA-MP

Piattaforma per l'annotazione automatica e la ricerca di materiale video per applicazioni professionali

TOSCA-MP

TOSCA-MP (*Task-oriented search and content annotation for media production*) è un progetto cofinanziato europeo, nato nell'ambito del *7th Framework Programme* dell'Unione Europea, svoltosi tra Ottobre 2011 a Marzo 2014. Si tratta di un progetto finalizzato allo studio di nuove modalità semiautomatiche di ricerca e documentazione dei contenuti multimediali in un ambiente di produzione professionale.

Obiettivo principale di **TOSCA-MP** è stato lo sviluppo di strumenti di documentazione e di ricerca progettati per utenti professionali operanti in contesti distribuiti di produzione (*networked media production*) e archiviazione (*networked media archiving*) di contenuti multimediali. Il progetto si è basato, come punti di riferimento, sugli specifici requisiti, sia in termini di casi d'uso che in termini di flussi di lavoro, dei potenziali utenti professionali. **TOSCA-MP** ha studiato, in questo ambito, una serie di strumenti, scalabili e distribuiti, dedicati all'estrazione multimodale dell'informazione dai contenuti multimediali e all'arricchimento semantico degli stessi. Allo stesso tempo ha lavorato su altre aree tecnologiche ritenute essenziali in questo contesto quali quelle riguardanti i metodi di ricerca all'interno di repository distribuiti ed eterogenei di contenuti e quelle relative alle interfacce utente.

TOSCA-MP permette di accedere facilmente ai contenuti, e alle informazioni ad essi relative, ovunque siano immagazzinati all'interno di archivi eterogenei distribuiti in rete, utilizzando tecnologie che consentono l'accesso immediato a database multimediali di grandi dimensioni distribuiti in rete e che sfruttano logiche di collegamento e di allineamento dei metadati all'avanguardia. L'accesso agli archivi distribuiti è mediato da un'unica interfaccia utente che, a sua volta, presenta i risultati secondo modalità innovative, permette di inserire in modo semi-automatico ulteriori dati di documentazione e dispone di strumenti per fornire feedback impliciti relativi all'utente.

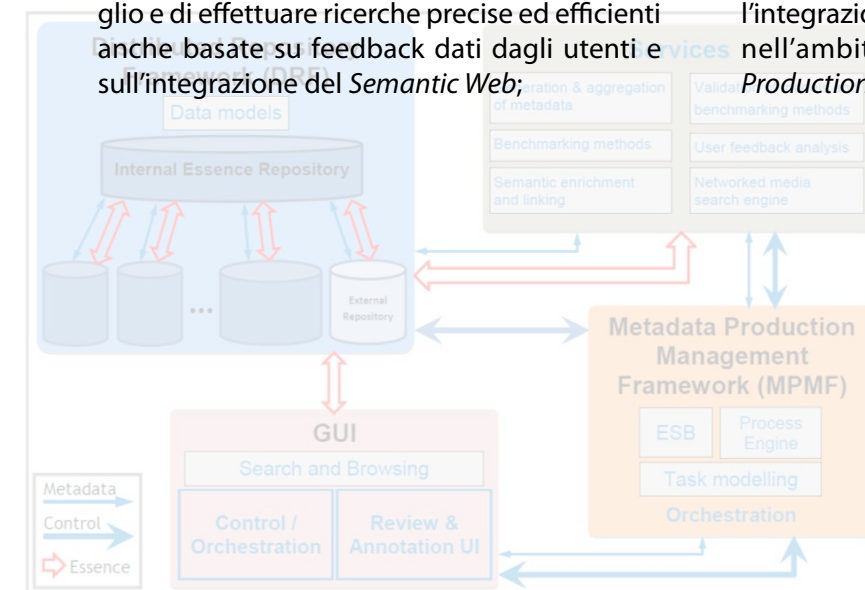
Al progetto hanno partecipato, oltre a **RAI**, rappresentata dal **CRIT**, altri 9 partner, provenienti da 6 diversi stati europei, che hanno portato nel progetto le esperienze e le esigenze delle industrie operanti nel settore dei media, dei broadcaster pubblici e della loro associazione europea (**EBU**), di università e di centri di ricerca.

Il progetto **TOSCA-MP** ha superato la *Final Review* della Comunità Europea il 13 giugno 2014.

Aspetti tecnici

Il lavoro in TOSCA-MP è stato focalizzato in più aree di ricerca, ognuna delle quali ha fornito al progetto uno o più componenti integrabili all'interno dell'ambiente complessivo.

Nel dettaglio:

- area *Multilingual speech metadata extraction*. **TOSCA-MP** mette a disposizione componenti che permettono di estrarre informazioni a partire dall'audio associato al video. Sono componenti che possono operare su materiali di generi diversi e su differenti lingue;
- area *Content-adaptive visual metadata extraction and enrichment*. **TOSCA-MP** mette a disposizione componenti che permettono di estrarre in modo semi-automatico metadati dai materiali da trattare, tenendo contemporaneamente in conto le caratteristiche sia audio che video per migliorare l'accuratezza dei risultati;
- area *Aligning and linking metadata*. **TOSCA-MP** fornisce componenti per la gestione dei metadati dotati di informazioni temporali e per la creazione/individuazione di insiemi di contenuti legati da caratteristiche comuni (*content clustering*);
- area *Task-adaptive search & retrieval and user feedback*. **TOSCA-MP** mette a disposizione un *Networked Media Search Engine*, motore di ricerca che permette di analizzare, annotare e indicizzare i contenuti a diversi livelli di dettaglio e di effettuare ricerche precise ed efficienti anche basate su feedback dati dagli utenti e sull'integrazione del *Semantic Web*;
- area *User interfaces for annotation and result presentation*. **TOSCA-MP** mette a disposizione interfacce utente per gestire le singole operazioni e l'intero flusso di lavoro;
- area *Task models and benchmarking*. In quest'area di ricerca **TOSCA-MP** ha studiato e sviluppato strumenti software per la simulazione dei costi correlati all'impiego delle tecnologie automatiche di estrazione dei metadati nell'ambito di processi di produzione industriale;
- area *Scalable distributed repository framework for digital media production workflows*. **TOSCA-MP** mette a disposizione una struttura distribuita per la gestione e la memorizzazione dei contenuti (**DRF**, *Distributed Repository Framework*);
- area *Integrated Proof of Concept*. **TOSCA-MP** ha sviluppato e dimostrato una piattaforma per l'integrazione di tutti i componenti sviluppati nell'ambito del progetto (**MPMF**, *Metadata Production Management Framework*).

Per saperne di più

Il sito ufficiale di TOSCA-MP: http://tosca-mp.eu/

Accesso ai documenti pubblici: http://tosca-mp.eu/publications/public-deliverables/

Poster riassuntivo: http://tosca-mp.eu/wp-content/uploads/2012/10/pos12069dig-TOSCA-A0v1w.pdf

A cura della Redazione

Field trials TOSCA-MP

Nell'ambito del progetto TOSCA-MP il **CRIT**, insieme a VRT di Bruxelles, è stato scelto come sede per la seconda e ultima tornata dei *field trials* di progetto.

Il 20 e 21 gennaio 2014 presso la sede di Torino sono state organizzate tre mezze giornate di test durante le quali è stata offerta, a utenti provenienti da differenti organizzazioni nel campo del broadcasting e della produzione multimediale, l'opportunità di conoscere e sperimentare gli strumenti per la ricerca e l'estrazione automatica di informazioni da contenuti multimediali sviluppati nell'ambito del progetto TOSCA-MP.

A ciascun partecipante è stato chiesto di compilare un questionario con le proprie valutazioni e le risposte così ottenute, una volta elaborate, sono state utilizzate per la messa a punto dell'ultima versione della piattaforma, versione presentata con successo alla *final review* di progetto tenutasi a giugno 2014.

Il CRIT alla mostra "1924-2014. La Rai racconta l'Italia"

Alla presenza del Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano è stata inaugurata il 30 gennaio 2014 la mostra "*1924-2014. La Rai racconta l'Italia*", ospitata nel Complesso del Vittoriano. La mostra, che celebrava la RAI attraverso i sessanta anni della sua televisione e i novanta anni della sua radio, è stata aperta al pubblico dal 31 gennaio al 30 marzo, per poi trasferirsi presso la Triennale di Milano dal 29 aprile al 15 giugno.

A chiusura di un percorso espositivo nel quale i sessant'anni della Televisione erano articolati in otto sezioni tematiche (Informazione, Spettacolo, Cultura, Scienza, Politica, Società, Economia e Sport) ciascuna curata da un testimonial d'eccezione (tra gli altri, Sergio Zavoli, Emilio Ravel, Andrea Camilleri, Piero Angela) e a una sezione dedicata ai novant'anni della radio, a cura di Marcello Sorgi, era presente la sezione tematica "Futuro" allestita dal **CRIT** nella quale si raccontava il futuro della tecnologia di casa RAI con dimostrazioni di televisione Ultra HD (4K) e 3D senza occhiali.

Sanremo 2014 in 5.1

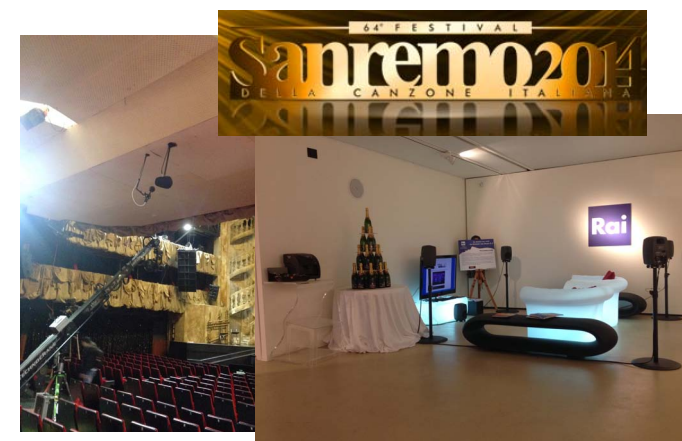
Il **CRIT** è stato incaricato di seguire l'intero *Festival della Canzone di Sanremo 2014* mettendo in campo alcune delle tecnologie innovative sviluppate negli ultimi anni dai propri ricercatori: integrando, per la ripresa audio, il sistema brevettato con l'Università di Parma, *3D Virtual Microphone System*, nella struttura microfonica di Rai1, allestendo la trasmissione in *Streaming Internet Video* e confezionando l'audio in formato *Surround 5.1*, il **CRIT** ha contribuito in modo rilevante all'arricchimento dell'offerta RAI durante l'evento sanremese.

Anche quest'anno la RAI ha trasmesso il Festival con audio in modalità *Surround 5.1* sul canale digitale terrestre 501 HD. Inoltre, a cura del **CRIT**, in collaborazione con la Direzione Rai Uno, la Direzione Produzione TV, RAINet S.p.A. e la Direzione Radio, la trasmissione dell'intero evento con audio di alta qualità è stata effettuata, in via sperimentale, anche su Internet: il segnale video del programma è stato trasmesso in rete, in tempo reale, associato al relativo audio sempre in formato *Surround 5.1*. A fini dimostrativi, al Palafiori, edificio in prossimità del Teatro Ariston, è stata predisposta una postazione *Home Theatre* per la ricezione di tale trasmissione allo scopo sia di testare la trasmissione in diretta sia di riproporla, il giorno successivo, per ulteriori verifiche e test. Il risultato della sperimentazione è stato molto soddisfacente: il video osservato è stato di buona qualità e senza interruzioni, l'audio nel formato *Surround 5.1* si è dimostrato molto gradevole e di qualità molto elevata. Per contro, si sono evidenziati fenomeni di jitter relativi al ritardo di ricezione legati alle caratteristiche intrinseche del canale Internet.

Presentazione della Guida CEI "Radio e Televisione Digitale: Interattività, TV ad Alta Definizione e 3D"

Il giorno 20 marzo 2014, presso il **CRIT**, si è svolta la presentazione della Guida "*Radio e Televisione Digitale: Interattività, TV ad Alta Definizione e 3D*", pubblicata dal **CEI** (*Comitato Elettrotecnico Italiano*).

La Guida, prodotta dal Comitato Tecnico CEI CT100 presieduto da **RAI Strategie Tecnologiche**, si prefigge l'obiettivo di aumentare la conoscenza, tra i cittadini e le imprese, delle tecnologie riferite alla Radio e alla Televisione digitale e alla Multimedialità in genere. In questo contesto, è utile ricordare il ruolo di Rai nel perseguire la sua vocazione di Servizio Pubblico, sia per quanto riguarda l'impegno nell'innovazione delle tecnologie legate ai servizi, sia per l'impegno rivolto alla formazione e all'informazione riguardo tali argomenti. Alla stesura del documento si è arrivati anche grazie alla collaborazione fra le Associazioni di Categoria: Confindustria, CNA (Confederazione Nazionale dell'Artigianato e della Piccola e Media Impresa), Confartigianato e ANACI (Associazione Nazionale Amministratori Condominiali e Immobiliari). La prefazione è a cura di Luigi Nicolais, Presidente del CNR.

La Guida è stata presentata alle Istituzioni, alle Associazioni Industriali, agli Operatori del settore e alla stampa.

Un gioco per Rai Gulp

Su iniziativa del Dott. Massimo Liofredi, direttore della struttura ***Rai Ragazzi*** , il **CRIT** è stato coinvolto nella realizzazione di un gioco dedicato alla trasmissione ***Gulp Girl*** in onda sul canale del digitale terrestre ***Rai Gulp*** la cui mission è quella di coinvolgere e fidelizzare il pubblico degli adolescenti. E' nato così un prodotto realizzato interamente in Adobe Flash corredato dalla grafica televisiva e sviluppato, nella sua parte di programmazione e fruizione via web, internamente dal **CRIT**.

La trasmissione ***Gulp Girl*** è per le adolescenti l'appuntamento quotidiano dedicato allo street style, al make up, al look e all'hair stylist e, oltre ad insegnare come riciclare i vestiti trovati nel baule della nonna a prezzi economy, si offre come modello televisivo per un look da indossare e cambiare durante la giornata: scuola, tempo libero, discoteca, uscite con le amiche, sport.

In ogni puntata, interviene una protagonista del mondo della musica, della moda, del cinema o della tv, che svela al pubblico i *punti look* del suo stile, offrendo la possibilità di imitarli a casa utilizzando prodotti naturali e oggetti vintage di famiglia. Il gioco realizzato non poteva quindi che ricalcare gli argomenti proposti alla TV e, infatti, le adolescenti possono giocare a creare i propri modelli originali e stamparli oppure possono provare a ricreare il look del loro personaggio preferito tra i quasi novanta proposti.

Il gioco è stato presentato ufficialmente dal Direttore Liofredi nel corso di "**Cartoons on the Bay 2014**", il festival dell'animazione organizzato da Rai a Venezia e da fine Aprile 2014 è disponibile sul sito di Rai Gulp.

Salone Internazionale del Libro 2014

Anche nell'edizione 2014 del *Salone Internazionale del Libro di Torino* il **CRIT** ha portato due dimostrazioni di tecnologie direttamente utilizzabili, e, di fatto, utilizzate, per realizzare prodotti culturali. Lo stand del **CRIT**, che occupava una parte del ben più ampio settore espositivo dedicato alla Rai, ospitava, infatti, un monitor 3D su cui si veniva visualizzato il film teatrale *La signorina Giulia* ed alcuni sistemi di array microfonici.

Lo spettacolo *La signorina Giulia* di Strindberg è stato portato in teatro dalla compagnia Teatro di Dioniso nell'inverno 2012 e, nell'estate dello stesso anno, il regista Felice Cappa ne ha curato l'adattamento in film televisivo per RAI 5. Le riprese sono state effettuate nel castello di Racconigi nel formato HDTV stereoscopico da cui si è ricavato il prodotto (in definizione standard) trasmesso il 15 marzo 2014 sulla rete di RAI 5. Dal punto di vista realizzativo è da notare che per girare gli 80 minuti di sceneggiatura si sono impiegati solo quattro giorni e mezzo e che il sistema multicamera adottato ha permesso la registrazione di un'elevata quantità di *girato* utilizzato poi in fase di montaggio; quest'ultima fase, inoltre, si è svolta nei normali tempi di montaggio previsti per questo tipo di lavorazioni, a dimostrare che la produzione in 3D richiede uno sforzo produttivo paragonabile a quello delle normali produzioni attuali.

Gli *array microfonici* esposti, disponibili per le dimostrazioni di funzionamento, sono apparati composti da un elevato numero di capsule microfoniche disposte su superfici di forma differente. Nello stand erano visibili un *array sferico*, uno *cilindrico* e uno *piano*. Combinando opportunamente i segnali provenienti dalle diverse capsule si possono realizzare fino a sette microfoni *virtuali* che possono essere orientati a volontà – nei limiti imposti dalla geometria del supporto – e di cui si possono variare le caratteristiche della figura polare. Tali configurazioni possono essere variate in tempo reale durante le riprese, per esempio per seguire una sorgente mobile, oppure in postproduzione. In ambedue i casi tali apparati offrono ampie capacità di adattamento alla scena sonora ripresa minimizzando le dimensioni dell'impianto di ripresa fonica.